

土木技術と自然環境の保全

2. 自然環境保全にかかわる基礎知識 2.2 生物多様性とその保全

鷲 谷 いづみ (わしたに いづみ)

筑波大学生物科学系

2.2.1 「生物多様性」とは何か

① 「生物多様性」に込められた意味

「生物多様性 (biodiversity)」は、ヒトの強い干渉のもとで野生生物全般がおかれた危機的な現状を憂える研究者が、その問題を広く社会に訴えるために今から10年ほど前に作られた新造語である。定義はそれを用いる著者によって厳密には一様とはいえない¹⁾が、遺伝子の多様性、個体群の多様性、種の多様性、生息・生育場所の多様性、生態系の多様性、景観の多様性、生態のプロセスの多様性などを含み「生物の豊かさ」を包括的に表す概念である点で共通している。

「生物多様性の危機」は、今では最も深刻な地球環境問題の一つとして広く認識され、その保全は、国際的にも国内的にも重要な社会的目標の一つとなっている。生物多様性の危機とは、人間活動のきわめて大きな影響のもとで多くの生物の種の個体群が衰退するとともに遺伝的な変異を失い、また生物の種類の豊かな生態系が各所で喪失しつつあるという問題である。

(2) 地球には何種の生物が存在するか、また絶滅が危惧される種の割合は？

地球上の生物の種数の合計は、数百万種とも数千万種とも、また1億種を超えるとも推定される。しかしすでに学問的に認知されている種はそのごく一部の百数十万種にすぎない。種の記載に携わる研究者が不足している一方で絶滅が急なため、今後それを正確に把握できる見通しもない。したがって、絶滅が危惧される生物の割合や絶滅速度などを正確に算出することは不可能である。しかし、人間活動の強い圧力を受けて多くの種が絶滅の危険にさらされていることは、膨大な数の未記載種を含む熱帯雨林が急速に失われつつあることや、後で述べるように、現存種の大部分がすでに把握されている分類群、すなわち、脊椎動物や維管束植物における絶滅危惧種の比率の高さなどからみて疑う余地はない。

(3) 生物多様性の概念に含まれる内容

「生物多様性」は、単に種の多様性だけをさす用語ではないことはすでに述べた。遺伝子から景観までのいくつもの生物学的階層にわたる多様性概念である。また、この概念には、生態的なプロセスの多様性も含まれている。

科学的に分析可能な形に整理すると、四つの階層からなる構成的、構造的、機能的な内容(表—2.2.1)を含む概念となる²⁾。つまり、一方で、同一種内に含まれる遺伝的多様性や環境と生物の関係(はかの生物は環境の重

表—2.2.1 「生物多様性」概念における階層性と要素

(Noss, 1990²⁾による)

階層水準	組成的要素	構造的要素	機能的要素
景観	景観タイプ	景観パターン	景観過程とその分布 土地利用傾向
群集・生態系	群集タイプ 生態系タイプ	相観パターン ハビタット構造	種間相互作用 生態系過程
種・個体群	種 個体群	個体群構造	生活史 個体群統計過程
遺伝子	遺伝的組成	遺伝的構造	遺伝的過程

要な要素なので、このなかには生物どうしの関係も含まれる)の多様性を含み、さらには生態系や景観など、高次の生物学的階層における多様性をも含む概念である。また、それはそれぞれの階層で要素の数が多くことだけでなく、その要素間の連関や生態的なプロセスなどの豊かさも表す。したがって、生物多様性の低下とは、いくつもの生物学的な階層にわたる多様なプロセスやダイナミクスの喪失を伴う生物界の全般的な貧困化をさす。

生物多様性の概念に含まれる階層性は、生物界にみられるほかの階層性と同様、特定の階層の要素は、その下位の階層の要素とその有機的な構成物との関係にみられるような生成的な関係で結ばれている。つまり、遺伝的多様性、すなわち遺伝情報の多様性は、種のなかの遺伝的変異、種内変異とが異なることに由来する遺伝的な違いを要素として含み、種多様性、すなわち生物の種類の多様性は、生態系の多様性を構成し、生態系の多様性によって、複数の生態系をその内を含む景観の多様性が構成される。

具体的な場所あるいは特定の問題における生物多様性の価値の評価では、これらいずれの階層をも無視することはできない。しかし、従来から重視されてきた、「種・個体群」レベルは、最も具体的で取扱いやすい生物学的実体である。「種・個体群」階層はその上のレベルの「群集・生態系」階層を生物間相互作用と生育条件要求性を介して構成する一方で、個体群内および個体群間での配偶関係やデモグラフィ(個体群統計過程)によって下の「遺伝子」階層を支配するため、生物多様性の「要」ともいうべき意味をもつ。しかし、その生態的特性が十分に理解されている種は、この地球上に生育する膨大な数の種の中でもごく少数にすぎない。

生物多様性の最も上位の階層をなす「景観＝ランドスケープ」は、基本的には、自然と人間の営みの両方の作用によってつくられる生息・生育場所の種類とそれらの

講座

空間的な配置や連関性を意味し、その地域で生息・生育可能な種の範囲を決める。

(4) 生物多様性の衰退の諸相

現在、私たちの身のまわりの生活域の自然から、熱帯雨林に代表される原生的な自然まで、いたるところで生物多様性の衰退が進行しつつある。種の絶滅はその最も顕著な表れである。しかし、種が絶滅しないまでも、個体群の数や、それぞれの個体群に含まれる個体数が著しく減少したり、またそれに伴い遺伝的な変異も失われるという現象は今では野生の生物では普遍的に起こっている現象である。

それは、乱獲や過剰採取などヒトの直接的な圧力によるだけでなく、森林や湿原など生き物の豊かな生息・生育場所や生態系が次第に少なくなっていることや、ヒトの活動に伴って侵入する外来生物の影響などによるものである。現在では全地球的に、種の豊かな自然の生態系を多く含む景観が失われ、市街地や農地や荒地のみで構成される画一的な景観が優勢になりつつある。そのような変化は我が国においても急である。

かつては地域の自然（風土）と調和し地方色豊かであった農村景観が、区画整理による市街地化や圃場整備などによって画一的な景観へと変えられつつある。当然そこに存在しうる生態系、生息・生育場所も限られたものになり、そこで生活できる種が限られてくる。雑木林、ため池、茅場などの多様な生育場所を含む伝統的な農業景観、いわゆる「里山」の喪失が現在では我が国における生物多様性衰退の最も大きな理由の一つとなっている。そのため、景観レベルで生物多様性をとらえ直すことは、現在きわめて重要な課題となっている³⁾。

(5) 生物多様性の危機の評価—レッドデータ

「生物多様性の危機」を量的に正確に表現することは、難しいということを超え不可能に近い、ということを手で述べた。地球上に現存する生物種のことを正確に見積もることができないからである。

哺乳類、は虫類、鳥類などの脊椎動物や花を咲かせる植物、顕花植物については、地球上の種のかかなりの部分がすでに学問的に認知され、名前が与えられている。それらの分類群を対象にすれば、比較的正確な絶滅率の予測が可能である。

現在、種の絶滅の危険がかつてなかったほど高まっているという厳然たる事実、分類群ごと、あるいは地域ごとに次々に編纂されるレッドデータブックに明りょうに表されている。

国際自然保護連合 IUCN のレッドリストによれば、哺乳動物の種は1/4が絶滅の危険にさらされており、霊長類にいたっては絶滅が危惧される種は半数にのぼる。

日本の維管束植物については、1997年8月に環境庁が発表した植物版レッドリストに、絶滅17種、野生絶滅12種、絶滅危惧種1399種、準絶滅危惧種108種がリストアップされた。日本に生育する維管束植物は約5300種であるから、絶滅危惧種の比率は、2割を超えていることになる。この数字は、我が国の昨今の生物多

様性の衰退がいかにすさまじいものであるかを示すものである。

2.2.2 なぜ生物多様性を保全するのか

(1) 適応進化によってもたらされた生物多様性

生物のからだの形や機能には、その生物が生活している環境に見事に適合したものが多く、観察者にとっては、それらがすぐれた設計者のデザインによるもののように感じられる。そのため、長い間、生物は偉大なる創造者の神の業によってつくりだされたものであると考えられていた。しかし、現在では、それには次に説明するように、「適応進化」という試行錯誤にも似た過程によってつくりだされるものとして理解される。

生物の形態・生理・行動・生活史のいずれもがその生息環境によく適したものとなっている。そのような環境によくあった形質、つまり適応形質は、自然選択によって進化する。

まず、進化のもとになる形質の変異は、遺伝物質に生じるランダムな変化、突然変異によって生じる。突然変異は方向性も、もちろん「目的」もないでたらめの過程である。生物の表す多様な形質の変異に自然選択が作用することにより、個体群の中にはその場での環境において個体の生存や繁殖に有利な変異だけが残される。自然選択はたとえて言えば、おびただしい数のがらくたの中からごくまれな掘出し物を選び出す作用である。生命がこの地球上に生じてから30数億年を経て、これほどまでに多様性に満ちた生物界がつくりだされたのは、自然選択による適応的形質の進化が連綿として続いてきたからである。

「自然選択」は、次のような三つの条件がそろったときに、1世代の中で起こる過程として定義される。

- 1) 生物の同種集団内に表現形質の変異がある
- 2) 適応度に個体間差がある
- 3) 表現形質と適応度のあいだに何らかの特別の関係が存在する

ここで、適応度とは、子の数で評価される個体の次世代集団への貢献度である。適応度は、生活史各段階における生存確率、繁殖の成功率や回数、1回の繁殖でつくれる子の数などによって決まり、適応度はそれら適応度成分の積のかたちで表される。上記の三つの条件がそろえば、表現型に応じて個体の次世代への貢献度が異なるため、もし、その表現形質の違いが遺伝的なものであれば、世代を経るにつれて遺伝子の頻度が変化する。

自然選択による遺伝子頻度の変化が何世代か続けば、頻度が低かった遺伝子が集団の中で次第に優勢になり、「自然選択による進化」がもたらされる。さらに、自然選択を受ける集団が親集団から隔離されて、自由な遺伝子の交流が断ち切られれば種分化が起こる。

自然選択の条件のうち、上記3)の条件、すなわち形質と適応度（成分）との間の特別な関係をもたすのは、「環境」の特性である。それを選択圧と呼ぶ。現在の生物界にみられるきわめて大きな多様性をもたすのに重

要な役割を果たしたのは、選択圧としての生物環境であると考えられている。生物環境は生物間相互作用を介して生物個体の適応度に著しい影響を与える。天敵や病原生物あるいは競争者などが適応度（個体の生存・繁殖を通じての次世代への貢献，子どもの数で評価される）にもたらす効果を考えてみれば，その大きな効果は想像に難くないであろう。他方，繁殖に必要な生物間相互作用は，次世代に残す子の数を通じて適応度を大きく支配する。

望ましくない生物間相互作用を回避したり，防御したりする適応や望ましい生物間相互作用をもたらすための適応が，同じような物理的な環境で生きる生物の間にも著しい多様化をもたらす。例えば，砂漠の植物は，極度の水不足や高温，強すぎる光などの物理的な条件に適応している。同じような選択圧のもとで，分類群が異なっても形態や生理の共通性が目立つ。しかし，トゲ，毛の在り方，粘液，生物活性を持つ様々な二次代謝産物，などにきわめて大きな多様性がみられる。それは，植食動物にする対応，つまりさまざまな防御機構としての意義から生み出される多様性である。不毛な立地では，植物は，光合成によって生産したものを失うことが適応度の非常に大きな損失となる。そのため，多様な防御機構の適応進化がみられるのである。

物理環境よりも生物環境が多様性を生む選択圧としての効果が大きいのは「生物環境自体が進化する」という性格をもっているからである³⁾。生物間相互作用が選択圧となって進んだ適応進化はその選択圧自体が変化することから，新たな適応進化の余地が生じる。つまり，かわりある生物種の絶滅が起こらない限りいたちごっこともいえる無限の変化が続き，生物間相互作用が選択圧として作用する適応進化はけっして完成をみることがない。適応進化の結果として現在の形質を備えている生物のそれぞれの種は，地球および地域における地史と生命史の産物であり，かけがえのない歴史的な存在である。

さて，ハイテク技術の中にも，適応進化によって自然につくられた野生生物の形質を真似た物がたくさんある。一例をあげてみよう。山陽新幹線は全線の半分がトンネルである。列車が高速でトンネルに突入すると空気の圧力波でトンネルの出口付近で大きな烈しい振動が生じる。この問題を解決するためにカワセミの頭部の形状が参考にされた。カワセミは，水辺の木の枝に止まっているかと思うと素早く降下して水中の魚を捕らえる。その巧みなダイビングでは，流体抵抗の小さい空気中からそれが大きい水中への突入というトンネルへの列車の進入と同じ問題が生じている。そこで，新幹線の新型の電車はカワセミの頭とくちばしの形状が模倣された。水の中に勢いよく飛び込むカワセミに体现されていた適応進化による解決法が取り入れられたのである。

種の絶滅は，私たちがそのような適応進化の成果から学び，高度な技術を発達させる可能性をも狭めることになる。

(2) 利用価値と存在価値

種やその集合である生物群集は，多様な価値^{4),5)}をも

っている。それらは大きく分ければ利用価値と存在価値である。

前項では，生物多様性の重要な構成要素である種が地球と生命の歴史の産物として，かけがえのない価値をもっているということを述べた。そのような存在価値は，生物の進化や生態に関心をもつ研究者やナチュラリストに特に強く意識されるものである。

生物多様性の価値はそれだけにとどまらない，種にはさまざまな利用価値，すなわち，ヒトの生活の直接的・間接的に何らかの意味で役に立つという意味での多様な価値が認められる。

また，生物多様性の意義としては，生態系の諸機能を通じてヒトにとっての環境を良好に保つというものがある。それは，人類の生存基盤にもかかわる重要性を持つ。

生物進化の成果であると同時に今後の進化の基盤としての固有な個体群，種，生物群集，生態系の存在価値，現世代のみならず将来の世代にとっての自然教育やレクリエーションにおける利用も含めた広い意味での生物資源の利用価値，そして生態系のヒトにとっての良好な環境を維持する機能，これらの多様な価値ゆえに生物多様性の保全は，広く人類共通の目標とされているのである。

(3) 生態系の機能・安定性と生物多様性

生物多様性は，ヒトにとっての自然環境を形成する生態系の構造や機能を通じて，ヒトの生活の健全性に大きな影響を与える。

さて，ここで，「生態系の機能」と呼ぶのは，物質生産，さまざまな物質の循環やエネルギーの流れなどの諸機能やそれらを恒常に保つ機能である。後者は生態系の安定性の保持ということもできる。それらと関連して，最近では，「生態系の健康」という新しい目標のもとにその監視や管理を行う必要が認識されるようになってきた⁶⁾。

生態系の機能では，その評価の容易さから，これまでエネルギー流動が最も重視され，植物による有機物生産，すなわち一次生産に主要な関心が向けられてきた。しかし，今日では，物質循環の健全性が重視されるようになってきた。また，生物間相互作用と関連した機能にも次第に目が向けられるようになってきた。

生態系の機能は，生態系を構成する生物種とそのネットワークによって担われる。生態系を構成する種が絶滅したり，あるいは逆に，本来はその生態系には含まれていなかった種が侵入してきたとき，生態系の機能にどのような変化が現れるのか？ 生物多様性と生態系の機能との関係を明らかにできればそのような疑問に答えることができる。しかし，残念ながら，今の生態学は現実の生態系から特定の種が失われたり，その種が付加されることによって生じる機能の変化を十分に予測をしようだけの十分な材料を持ち合わせていない。

しかし，1種絶滅するだけで生態系の構造や機能を大きく変えてしまうような種がある一方で，生態系には目立った変化をもたらさない影響力の小さい種もあるということだけは確かである。きわめて大きな影響力をもつ

講 座

種はキーストーン種とよばれる。

ある種がキーストーン種となりうるかどうかは、その種と他の種との直接・間接の相互作用によって決まる。キーストーン種のようなとりわけ顕著な効果をもたらす種以外については、その喪失の影響を予測することは、必ずしも容易ではない。さらに、同時に何種もの種の喪失を伴う生物多様性の変化であれば、その効果の予測を行うことはなおさら難しい。このような問題については、生態学の研究はまだ不十分な段階にあるが、生物多様性と生態系の機能や安定性との関係についてこれまでに提唱された考え方を整理してみると、①「多様性—安定性」説、②リベット説、③冗長度説、④固有説、と呼ばれる四つにまとめることができる⁷⁾。

これら四つの見方は、経験的に見いだされた仮説であるというよりは、直感的あるいは理論的に導かれたものである。最近では、これらの仮説の検証を試みる野外実験や制御環境における実験も実施されている。

さて、四つの見方の中で最も古典的なものが「多様性—安定性」説である。それは、包含する要素が多い複雑な系、すなわち多様性が高い系ほど安定であるという見方である。

リベット説は、生態系を飛行機に、種をリベットにたとえる⁸⁾ 比喩である。飛行機から一つ二つリベットが抜け落ちて飛行には支障はない。ところがもし、一度に多数のリベットが抜け落ちてしまえば飛行機は飛べなくなる。それと同じように、少数の種が絶滅しても生態系の機能が損なわれることはないが、一度に多くの種が絶滅してしまえばその機能や安定性が保てなくなると考える。しかし、リベットは、質的にはどれも同じでこの比喩で本質的な意味を持つのは抜け落ちるリベットの数だけである。ところが、生物の種は1種1種が生態系における役割や重要度を異にし、キーストーン種のようにその1種の存在が生態系の性格を左右するような種も存在する。

リベット説から欠落している視点、つまり種の質的な違いを重視する見方が冗長度説である。冗長度というのは、ここでは、機能の点からみて、省くことができる種の余剰量を示している。例えばまったく同じ機能をもつ種が N 種存在している生態系では、そのうちの $N-1$ 種が絶滅しても残りの1種がその機能を担うことができれば、生態系の機能に支障が生じることはない。とすると、 $N-1$ 種は「冗長な部分」とみなすことができる。冗長説では、生態系における機能を同じくする種のグループ(=機能グループ)に属する種が多ければ、多少種が絶滅しても生態系の機能や安定性はあまり変化しないと考える。

ところが機能については余剰なものが、生態系の安定性を保障する上では重要な意味をもつことがある。なぜなら同じ機能グループに属す種の数が少なければ少ないほど、1種の絶滅によってその機能が失われる危険性が大きいからである。それに対して多数の種を含む機能グループによって担われる機能は、何種もが絶滅しても安

定的に維持される。

冗長度説は、抽象的な機能グループを考えている限りでは常識で理解しやすい合理的な説明である。しかし、「同じ機能を担う」ということなどをどの程度厳密に考えるか、つまり、大ざっぱな機能の共通性だけを問題にするのか、細かい点にいたるまで共通性を求めるかで、機能グループの認識自体が変わる。機能を細かく見ていくと生態系の中に機能の上でまったく相等しい種がいることはありえないということになり、種の数だけ機能グループを考えなければならなくなる。

以上の三つの考え方は、生態系の機能/安定性と生物多様性とが何らかの明りょうな関係を持つとするものである。それに対して固有説では、生物多様性と生態系の機能/安定性との関係はそれぞれの生態系によって固有なものであるとする。生態系における種の組合わせ次第で、生態系がさまざまな異なる「生成的な(単独の要素にはみられない性質がその集合体に生じる)」性質を持ちうるとすれば、この考え方が最も妥当であるということになる。

無生物的な環境条件だけでなく、偶然に大きく支配される生物の分散過程や生物間相互作用の結果として形成された生物間相互作用のネットワークのもとたす固有性と複雑さは、安易な予測を許さない。もし、固有説が妥当だとすれば、何らかの機能が種多様性の変化に対してどのように反応するかは、生態系ごとに、喪失する種ごとに、または問題とする機能ごとに検討すべき事柄であるということになる。

さて、生態系の安定性はそれをどのくらいのタイムスケールで考えるかによって異なる。ごくまれに起こる大きな異変に対して生態系が安定であるために必要な種の多様性は、通常の変動に対して安定性を維持するために必要な種多様性に比べてずっと大きいことも考えられる。

生物多様性と生態系の生産性や安定性との関連に関する私たちの理解や知識が必ずしも十分でない現状では、生態的な機能維持に関して生物多様性低下の許容レベルなどを設けることは、個別の生態系を対象とした場合においても困難である。現状では、生物多様性の低下、種の絶滅は何らかの生態的な機能変化を伴う危険があると考え、「自然の豊かな」生態系については、目標を少なくとも現状の生物多様性の維持に置くことが必要であろう。

2.2.3 どうすれば生物多様性を保全できるか

(1) グローバルな多様性とローカルな固有性

生物多様性の保全を地域において計画する際に最も重要なことは、「固有性」の尊重である。それは単にその場で種類数を多く保つことよりも優先させるべき重要な目標となる。なぜならば、少し大きな空間的な尺度で見た場合の多様性は、場所によって見られる生物が異なることによって成り立っているからである。多くの種は、その生態的特性や歴史に応じて地理的に限られた分布を示し、また限られた生息・生育場所でのみ生活する。したがって、局所的なスケールにおいて、それぞれの地域

や生息・生育場所に固有な種を優先的に保全することは広域的に見た生物多様性の保障につながる。

グローバルな多様性の維持にとっては、特定の地域のみ分布する種や、特定の環境のもとにのみ生息・生育する種は、分布の広い種、環境を選ばずに生息・生育する種よりもその保全を優先する必要がある。つまりローカルな固有性の尊重が必要なのである。

一方、分布の広い、侵入性の高い種は、その排除が生物多様性の保全にとって不可欠なことも少なくない。それは、侵入種が、捕食、寄生、競争、雑種形成などを通じて先住の種の生息・生育を脅かすからである⁸⁾。生物学的侵入が地域の生物多様性に及ぼした最も悲劇的な例の一つとしてあげられるのは、アフリカのビクトリア湖で外来魚ナイルパーチの導入によって200種もの固有魚種が絶滅してしまった例であろう。

(2) 種アプローチと生態系アプローチ

生物多様性は、それを構成する要素があまりにも多様でそれらを結ぶネットワークはさらに多様で複雑に絡み合っている。その全容を科学的に把握することは事実上不可能に近い。

そのため、科学的な保全目標やモニタリングには何らかの指標となる種などが必要となる場合が多い³⁾。生育場所に特有な生態的指標種でレッドデータ記載種であるものなどを保全の指標とすれば、その種の存続のための条件を確保することによって、同じ生育場所の多くの種の存続が保障される。種に注目したこのような保全手法は、「種アプローチ」と呼ばれる。この場合、科学的、客観的に追求できるとりあえぬ生物多様性保全の指針は、「(指標としてとりあげた)種を絶滅させないこと」である。しかし、種を絶滅させないために考慮すべきことは、もちろん「種」という生物学的階層の内にとどまるものではない。後で述べるように、遺伝子から景観まで、すべての生物学的階層で種の衰退の問題をとらえ、分析し、対策を立てることが種アプローチの前提となる。

誤解のないように強調しておきたいことは、種アプローチは、種をその生息・生育場所から切り離して保全するというものではないということである。種は分析による問題点の抽出やモニタリングを容易にするための適切な指標として選ばれるのであって、保全の対象・目標はその種に限定されるものではない。あくまでも目標は生物多様性の保全であり、種はその目標の一部であると同時に手段なのである。

また、指標として取りあげる種(1種とは限らない)を適切に選ぶことによって、生態系の構造や機能を広く保全するという目標にも対応する種アプローチになりうる。

他方、未知の部分の大きい生態系や生息・生育場所、あるいはこれまでに人為的干渉の少ない原生的な自然については、そこに含まれる個別の種に目をむけるのではなく、生態系そのものをまるごと保護する「生態系アプローチ」が保全手段となる。保護区を設定するなど計画段階では明りょうで有効なアプローチであるが、管理や

モニタリングをどのようにすべきかという点になると難しさが残る。このアプローチは、特別の管理を施すこと無しに、単に人為を排しておけば維持できるような生態系が対象となる場合に有効な手段であるといえるであろう。

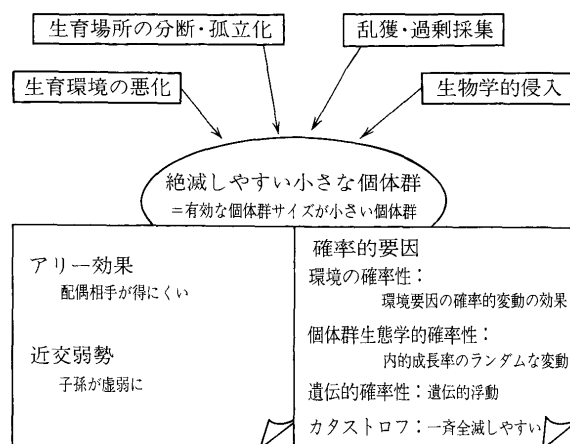
(3) 種の存在を脅かすもの

種アプローチはすでに上でも強調したが、単に個別の種だけに目をむけるような管理・復元の手法ではない。特定の種の生活という視点から出発し、多くのほかの種と共通な物理的な環境条件のみならず生物間相互作用のネットワークへの配慮を介して「生態系」や景観が視野に入る。種アプローチにおける基本的な問いは、「種の存続のための条件とは何であろうか?」というものであり、それに答えることができれば有効な保全の手段を明らかにすることができる。

すでに述べたように、生物多様性を脅かす主要な要因は、乱獲などとともに生育場所の分断・孤立化や侵入生物の影響である。図—2.2.1には、直接的な個体間引き効果としての乱獲・過剰採取、生育場所の分断・孤立化、侵入生物の影響などによってもたらされる個体群の縮小や孤立化に伴う決定的な絶滅要因と、確率的な絶滅要因を示した。個体数が少なくなると、配偶相手を得るのが難しくなることや、近親交配の結果としての近交弱勢、さらには内的、外的な偶然の効果に加わり、個体群は非常に絶滅しやすい状態におかれることが、これまでの保全生物学の理論的な研究から明らかにされている³⁾。

生物多様性の保全にとって最も本質的な種や地域個体群の保全とは、個体群を絶滅させないように生息・生育の条件を整えることであるが、小さな個体群は絶滅しやすいため、ある程度以上に個体群の大きさを保つことが個体群の保全の重要な目標の一つとなる。

一般に個体群の大きさに大きな影響を与える個体群内部のパラメーターは新個体の誕生率と死亡率である。それらは、生活史のさまざまな過程において環境の影響を強く受ける。誕生数が死亡数を下回ることがなければ、少なくとも個体群の現状維持が可能である。それは、生活史の各段階において、生存・成長・繁殖に必要な環境条件が与えられ、繁殖が確実に行われることによってはじめて可能となる³⁾。それには生活史の各段階での種特



図—2.2.1 小さな個体群の絶滅要因

講 座

有の必要性を十分に理解しなければならない。以下で具体的な例を紹介するように生物的環境が重要な意味をもつ生活史段階もある。

(4) 「生物間相互作用」と「分散」が果たす役割

捕食者などの天敵や寄生者、あるいは競争者との生物間相互作用は、どのような生物種においても個体の適応度に非常に大きな効果をもたらすため、あらゆる種においてその個体群の動態を強く支配する。生物学的侵入が在来種の衰退や絶滅をもたらすのも多くの場合、在来種の適応度を大きく引き下げるような生物間相互作用を通じてである。すでに述べたように侵入生物による固有種の大量絶滅の事例も知られている。そのため、地域における生物多様性の保全にとっては、生物学的侵入の機会を極力小さくすることが肝要である。

一方、孤立した生育場所の植物個体群では、「小さな個体群」の問題に加えて、繁殖に必要な生物間相互作用の喪失が、交配の在り方や個体群の遺伝的構造を変化させ、さらにいっそう絶滅を促進する可能性がある。例えば、花粉を運搬する送粉昆虫が失われて植物の種子繁殖に支障をきたすと同時に、個体群の遺伝的多様性の低下を招くことなどである⁵⁾。

そのような孤立した植物個体群の^{しづく}桎梏については、これまで理論的な考察が先行していたが、サクラソウの一連の保全生態学の研究^{9)~12)}において実際の例が示された。トラマルハナバチ（北海道の亜種、エゾトラマルハナバチを含む）の女王蜂を重要なポリネーター（花粉媒介者）とするサクラソウにおいては、トラマルハナバチの訪花の有無は個体群の大きさとともに種子生産の成否や量をきめる重要な要因となっていることが明らかにされている。営巣場所や花蜜資源など、トラマルハナバチの生息を保障する条件¹³⁾をサクラソウの健全な繁殖を保障する保全のための条件とすると、それは景観（＝ランドスケープ）のレベルの問題になる。

種アプローチにおいては、種からのスケールアップによって保全生態学で考慮すべき最も高次の生物学的階層である景観レベルにまでその扱う範囲が広がると同時に、繁殖過程の詳細な分析は遺伝的変異の在り方や維持機構の理解につながる。つまり、「遺伝子から景観まで」がおのずと視野に入ってくるのが保全生態学を踏まえた種アプローチである³⁾。

さて、一時的な生息・生育場所を利用する生物では、個体群は永続的なものではありえない。そのような種については、新生・絶滅を繰り返す多数の個体群からなるメタ個体群のダイナミクス³⁾を考慮することが重要である。例えば、氾濫原の植物は、洪水の後に一時的に形成される裸地に個体群を成立させ、植被が発達するとその個体群は消滅する¹⁴⁾。つまり、河原にできる一時的な生育適地を追って、個体群がジプシーのように河原をさまよう。そのような植物では、個体群は所詮一時的なもので、その絶滅はむしろ自然の成り行きである。そのような種では保全すべきは、個々の個体群ではなく、「河原をさまよう」という生態的プロセスと、個体群の上位

構造としてのメタ個体群である¹⁵⁾。

一般に、メタ個体群が維持されるためには、それを構成する局所個体群の単位時間あたりの新生が、絶滅を上回ることが必要である。つまり、局所個体群の持続時間の減少と新生頻度の低下は、メタ個体群の衰退を招き、絶滅の可能性を高める。

局所個体群の新生は、それまでその種によって占められていなかった生育適地への個体の移入によっておこる。したがって、ある程度の広がりをもった生育適地のほかに個体の供給源となるような既存の局所個体群と分散過程が保障されてはじめて可能となる。植物のような固着性の生物では、分散のための媒体の存在が必要である。

メタ個体群の保全においては、生育適地の確保のほか分散過程を保障することが重要な管理となる。

参 考 文 献

- 1) Gaston K. J.: Biodiversity. In Conservation sciences and action, W. J. Sutherland (ed.), Blackwell Science, pp. 1~19, 1998.
- 2) Noss, R. F.: Indications for monitoring biodiversity: A hierarchical approach, Conservation Biology, 4, pp. 355~364, 1990.
- 3) 鷲谷いづみ・矢原徹一: 保全生態学入門—遺伝子から景観まで, 文一総合出版, 270pp., 1996.
- 4) Hunter M. L.: Fundamentals of conservation biology, Blackwell Science, 482pp., 1996.
- 5) 鷲谷いづみ: サクラソウの目—保全生態学とはなにか, 地人書館, 227pp., 1998.
- 6) Rapport D., Costanza R., Epstein P.R., Gaudet C., Levins R.: Ecosystem health, Blackwell Science, 372pp., 1998.
- 7) 鷲谷いづみ: 生物多様性と生態系の機能/安定性, 保全生態学研究 1, pp. 191~203, 1996.
- 8) 鷲谷いづみ・森本信生: 日本の帰化生物, 保育社, 191pp., 1993.
- 9) Washitani, I., R. Osawa, H. Namai and M. Niwa: Patterns of female fertility in heterostylous *Primula sieboldii* under severe pollinator limitation, Journal of Ecology, 82, pp. 571~579, 1994.
- 10) Washitani, I., M. Kato, J. Nishihira and K. Suzuki: Importance of queen bumble bees as pollinators facilitating inter-morph crossing in *Primula sieboldii*, Plant Species Biology, 9, pp. 169~176, 1994.
- 11) Washitani, I.: Predicted genetic consequences of strong fertility selection due to pollinator loss in an isolated population of *Primula sieboldii*, Conservation Biology, 10, pp. 59~64, 1996.
- 12) Washitani, I., Y. Okayama, K. Sato, H. Takahashi and T. Ogushi: Spatial variation in female fertility related to interactions with flower consumers and pathogens in a forest metapopulation of *Primula sieboldii*, Researches on Population Ecology, 38, pp. 249~256, 1996.
- 13) 鷲谷いづみ・鈴木和雄・加藤 真・小野正人: マルハナバチハンドブック, 文一総合出版, 49pp., 1997.
- 14) Takenaka, A., I. Washitani, N. Kuramoto and K. Inoue: Life history and demographic features of *Aster kantoensis*, an endangered local endemic of flood plains, Biological Conservation, 78, pp. 345~352, 1996.
- 15) Washitani, I., A. Takenaka, N. Kuramoto and K. Inoue: *Aster kantoensis* Kitam., an endangered flood plain endemic plant in Japan: its ability to form persistent soil seed banks, Biological Conservation, 82, pp. 67~72, 1997.