

競争関係とその社会

以前（第7回）駅前でどんな店が経営できるかの喩（たとえ）を使って、生物の共存の仕組みを論じた。今度はそれをもう少し拡張して考えてみよう。実際の社会では、駅前の店とそれを利用する客との関係だけで物事が決まるわけではない。居酒屋を例にとれば、材料を仕入れるために、魚市場や野菜市場へ買い出しに行くだろう。また居酒屋に来るサラリーマンも、勤務先の会社とのつながりがある。さらに、その会社も、取引先の海外の会社と関係しているかもしれない。こう考えると、駅前の店と店との競争関係は、それを取り巻く社会の大きなネットワークの中で演じられているのである。

もし、客が勤める会社が、不景気で給料の払いが悪くなれば、客足は遠のき、店の売り上げはガタ落ちになるに違いない。不景気の原因は、円高によって海外の取引先が輸入を止めたためかもしれない。これを簡単な図式で表せば、「海外の会社 勤務先の会社 サラリーマン 駅前の居酒屋」という関係になる。「大風が吹けば桶屋が儲かる」という諺を思い起こす構造である。

食物連鎖 = 生物のネットワーク

同じような構造は自然界の生物でもみられる。異なる種が集まった集合体を専門用語では「群集」、英語では community という。これは人間の社会の community と同じ語源である。異なる生物種の集まりを生物の社会と見立てたのであろう。

また、生物種をつなぐを表す構造は、「食物連鎖」としても有名だ。食物連鎖は、種と種を「食う・食われる」の関係でつないだものであり、群集の中身をより具体的に表している。生物の群集は、さまざまな種のネットワークで成り立っていると言い換えることもできる。例えば、シジウカラやオオタカが森で暮らせるのは、直接餌となる生物だけでなく、そのまた餌となるさまざまな生物との間接的な関係の上に成り立っている。また、ガの幼虫が大発生しないのは、天敵であるシジウカラやクモの働きで個体数が抑制されているからである。

< 図 雑木林でみられる食物連鎖 >。身近な雑木林でみられる典型的な食物連鎖。図は代表的な生物のみを示した。食物連鎖は、最近では「食物網」とよばれている。種と種をつなぐは直線的な鎖状ではなく、網目状になっているからである。この図では、ガと樹木、クモは多数の種をまとめたものである。

敵の敵は味方

食物連鎖は、直接関係していない生物どうしが間接的に関係していることを理解するのに役立つ。その二つの例を紹介しよう。

100年以上前に絶滅したニホンオオカミは、シカやイノシシを主食としていたらしい。シカやイノシシは田畑の作物を荒らす害獣だったので、人間にとってオオカミはありがたい生物だった。オオカミの語源は、「大口の真神（おおぐちのまかみ）」とされている。大切な作物を害獣から守ってくれる神様の使いとして崇められていたのである。作物を生き物として捉えれば、その敵はシカやイノシシ、そのまた敵はオオカミということになる。

敵の敵は味方、ということで崇めてきたわけだが、人間が森を開拓して大規模な牧場を經營するようになると、オオカミは家畜を襲うようになった。江戸時代中期以降のことである。こうなると、オオカミは作物を守ってくれる神の使いではなく、大事な家畜を襲う悪魔に代わってしまった。敵の敵から、単なる敵に変化し、駆除の対象になってしまったのである。これはもちろんオオカミの責任ではない。

< 図 武蔵御岳神社「大口真神」のお札 >。東京・青梅市の武蔵御岳神社「大口真神」のお札。盗難除け・魔除けの神「大口真神」は江戸時代から「おいぬ様」として親しまれてきた。ただしこれは犬ではなく、今は絶滅したとされるニホンオオカミだという。

ラッコとウニとコンブ

アラスカからカリフォルニアにかけての北太平洋沿岸には、ジャイアントケルプとよばれる大型の海藻が分布していて、「コンブの森」とよばれる生き物豊かな生態系を形成している。ここにはラッコという人気者の動物も棲んでいる。お腹の上で貝を割って食べる仕草は何とも愛くるしく人間にも人気があるが、ラッコはコンブの森の守り神のような存在でもある。なぜなら、ラッコの好物はウニであり、ウニの好物は他ならぬコンブだからである。

1990年代にラッコが急減した時には、ウニが大発生し、そのウニに食い荒らされてコンブの森が衰退してしまった。コンブにとって、ラッコは敵の敵、つまり味方なのだ。では、なぜそもそもラッコが減ったかということ、どうやらシャチ（大型のイルカの種類）が沿岸にやって来て、ラッコを食べてしまったからと考えられている。

シャチはアザラシや他のイルカを好んで食べるが、人間が沖合で魚を取りすぎて、魚を餌とするイルカやアザラシが減ったため、シャチが仕方なく沿岸にやってきてラッコを食べるようになったらしい。まさに「大風が吹けば桶屋が儲かる」の諺どおりであり、人間が生物のネットワークを通して生態系のバランスを崩してしまった好例であろう。この場合、人間が吹かせた「大風」で儲かったのは、ウニだけである。

< 図 ジャイアントケルプに包まれて浮かぶラッコ > 撮影：中村庸夫 写真提供：ボルボックス
ジャイアントケルプに包まれて浮かぶラッコ。ラッコは「コンブの森」の守り神。写真はカリフォルニア州沿岸で撮影された。

第10回 生態系とそのつながり

そもそも生態系ってナニ？

私たちは、生態系という言葉をよく耳にする。新聞、ニュース、ドキュメンタリー番組などでおなじみである。そのほとんどが、自然環境や地球環境とほぼ同じ意味で使われている。私たち専門家もそうした総称をよく使うのだから、これは間違いではない。だが学術的にいうと、生態系は人間社会の外部環境、といった漠然とした概念ではなく、文字通り「系」を意味している。

人体にたとえると分かりやすいかもしれない。循環器系は空気を体内に取り込んで酸素を体内の各組織に輸送するシステムであるし、消化器系は摂取した食物を消化吸収して排泄するシステムである。システムの内部には、食道、胃、小腸、大腸といった一連のパーツがあって、それぞれが一定の役割を果たしている。

生態系においても、光合成で有機物を作る一次生産者、その有機物を消費する消費者がいて、消費者もさらに草食動物や肉食動物に分かれる。また、落ち葉や朽ち果てた樹木、動物の死体は、微生物などの分解者によって分解され、無機物となって土に帰る。この無機物は硝酸やアンモニアなどの化合物のことで、土中で植物の根から吸収されて再び生体を構成する。つまり、生態系は本来、このような構成要素の相互作用が織りなす、一連の循環システムのことを指している。

外部と区別可能なシステム

では、生態系はどの範囲で括られるのだろうか？ 地球は外部の宇宙空間から明確に区別できるので、地球を生態系の単位とすることもできる。大気も水も国境はないのだから当然ともいえる。だが、地球は見た目にはっきりと区別できる異質なパーツから成り立っている。海と陸の違いは言うに及ばず、森林と草原では見た目の景色だけでなく、そこに棲む生き物もまるで違う。

人間が創りだした農地も過去 2000 年来、他と区別できる重要な構成要素となっている。さらに、同じ森林でも、ブナ林などの落葉広葉樹林とシイやカシなどの照葉樹林では見た目がだいぶ違う。日本人にはなじみ深い「里山」は、雑木林、水田、ため池、草地などから成り立っている。里山を一つの生態系とみなすこともできるが、これらの構成要素を別個の生態系とした方が実態として捉えやすい。

このように、生態系とは特定の空間的な広がりで定義されるものではなく、目的や状況によって使い分けられている。ただし、いずれにしても外部と区別可能なシステムとして捉える必要はある。

サケ...ヒグマ...トウヒのように

前の議論からも明らかなように、個々の生態系にはある程度の同一性ないしはアイデンティティはあるが、他の生態系とは独立ではありえない。沿岸の干潟や藻場の生態系は、森林生態系から供給される窒素やリンなどの栄養分で支えられている。それらをつなぐものが河川生態系であり、そこには森林だけでなく、農地からの有機物の流入も含まれている。一方、有機物の供給が過剰になれば、河川は汚れ、ひいては沿岸の生態系も劣化することになる。

こうした物質の流れを通した生態系のつながりは比較的容易に想像できる。それに加え、ここ20年くらいの間に、生物の移動が生態系のつながりに一役買っていることが次々とわかってきた。ここではその事例をいくつか紹介しよう。

サケやマスは、河川と海を行き来する回遊魚として有名である。北半球の太平洋沿岸の河川には、さまざまな種のサケ科魚類が産卵のために回遊してくる。それを目当てに、ヒグマやワシやカラスなどの動物がやってきて、饗宴になることは映像でもおなじみである。

特にヒグマでは、これらの魚が多い地域では体が著しく大型化し、アラスカやカムチャッカでは700 kg 以上にも達することもある。これは海から陸へもたらされる自然の恵みの好例であるが、事はそれだけにとどまらない。動物の食べ残しや糞は、河川から数百メートル離れた森林にも運ばれる。これらは樹木への施肥の効果があり、サケの多い河川周辺では、トウヒという針葉樹の成長が3倍も速くなるらしい。

またカリフォルニアのブドウ園では、ブドウの果実に含まれる窒素量の20%が、アライグマやコンドルが運んできたサケ科魚類に由来する有機物であるという報告もある。

< 図 秋の知床、魚を狙うヒグマ > 秋の知床、魚を狙うヒグマ。カラスも舞い降りてきた。

< 図 サケを捕まえるヒグマ（米国アラスカ州） >

生態系と共生の関係

海は陸に比べて均一な環境に見えるが、じつはさまざまな生態系から構成されている。特に沿岸域の環境は多様で、干潟、藻場、サンゴ礁、マングローブ林などの生態系が存在する。これら生態系は、潮流などで連結しているのは当然であるが、魚類の移動によってもつながっている。

なかでも、幼生期に藻場やマングローブ林で暮らし、成魚になるとサンゴ礁に移動するブダイなどの大型の魚は注目に値する。ブダイは、サンゴの表面に付着している藻類を餌としている。藻類が過剰に繁茂するとサンゴの表面を覆ってしまい、サンゴは衰退する。ところが、ブダイがこの藻類を食べてくれるおかげで、サンゴ礁が健全な状態で維持されているらしい。つまりサンゴ礁は、ブダイを仲立ちとして藻場やマングローブ林に守られているともいえる。

勘のいい読者はすでにお気づきのとおり、異なる生態系は、物質や生物の移動を通して、ある種の共生的な関係にあると言える。共生は本来、生物種の間プラスの関係を指すが、生態系を単位としたシステム同士の関係も共生系とみなすこともできる。このあたりの深い議論については、後に述べることにする。

< 図 オビブダイとサンゴ（沖縄県波照間島） >

第11回 生態系のバランスと平衡

バランスすなわち「不安定の安定」

バランスの語源は、天秤または秤のことである。私が子供のころは、天秤棒を使って物の目方を量ったり、上皿天秤を理科の実験で使ったりしたが、今はデジタル式の高性能の電子天秤に置き換わってしまった。

だが、「やじろべえ」なら今の子供でも分かるに違いない。一時的に右に傾いても、すぐに反対方向の力が加わってゆり戻される。その繰り返しが、「不安定の安定」ともいえる絶妙なバランスをもたらしている。もちろん、片方に乱暴な力を加えれば、やじろべえはバランスを崩してあえなく落下してしまう。

バランスは、よく「平衡」あるいは「均衡」とともに語られることが多い。平衡や均衡は、天秤で例えるならば、相反する力が完全に釣り合い、天秤棒が水平に保たれている状態のことをいう。

また「動的平衡」という言葉がある。これは、系を構成する物質などは常に出入りしているが、系全体はある状態に維持されていることをいう。人間の顔は年とともに老化でたるんでくるが、1週間や1か月で変化することはない。ただ、顔を作るすべての細胞が1か月まったく同じことはなく、表皮が垢となって剥がれ落ちる一方で、新たな表皮細胞がつくられる。これも動的平衡の一種である。

おおむね動的な平衡状態にある

平衡はバランスよりも狭い概念である。平衡状態では、物事が止まって見える必要があるが、バランスがとれている状態では、やじろべえのように左右に動いていてもよい。長期的に、ある一定の幅のなかで変動が収まっていればよいのである。現実の世界では、常に平衡状態にある系はほとんどなく、何がしかの変動は起きているはずだ。人の顔にしても、たまには傷もできるし、肌が荒れることもあるだろうが、1～2週間もすれば大抵回復する。生きているとは、まさにバランス力の結果ともいえる。

生態系も一般的にこうした性質を備えている。たとえば、大気中の酸素濃度がほとんど変動しない。これは、海水中への酸素の溶解込みと海水からの酸素の放出、あるいは樹木による炭素の固定と呼吸に

よる酸素の消費、といった相反する過程が釣り合っているからである。

もちろん、未来永劫変化しないということではない。すでに見てきたように、数億年単位の気の遠くなる時間スケールでは酸素濃度は上昇してきた。ただ、少なくとも私たちが感じる時間スケールでは、おおむね動的な平衡状態にあるといえる。

個体数の変動とバランス

生物の個体数は、大気中の酸素濃度よりは大きく変動している。今年はサンマが豊漁だとか、渡り鳥の数が少ないとかいった話はよく耳にする。ただ、サンマは不漁にもなるし、渡り鳥が多い年もある。害虫の中には、数万倍のオーダーで数が変動する種もいる。

ヨーロッパのカラマツ林に棲むカラマツアミメハマキというガはその典型例である。密度が低い時は、見つけるのも困難だが、大発生するとカラマツの葉を食い尽くしてしまう。面白いことに、大発生はほぼ10年周期で起こっている。

大発生は、餌不足やウイルス病の蔓延による死亡率の急激な増加により終息する。短い時間スケールで見ると明らかに不安定であるが、数十年のオーダーで見れば、一定の範囲内で変動している。これもバランスがとれている例である。

生物の個体数にバランスが取れている以上、何らかの相反する力がうまく具合に働いている必要がある。数が増えすぎると減らす力が働き、数が減ると増やす力が働くことで、トータルとしてバランスが取れているはずだ。

< 図 カラマツアミメハマキ > カラマツアミメハマキに食われたカラマツの葉
カラマツアミメハマキ < *zeiraphera diniana* > ロシアの博物画より。

主にスカンジナビアやシベリアに分布し、ヨーロッパの高地でも、10年単位で大発生を繰り返すことが知られている。大発生した幼虫は、トウヒやマツ、カラマツの若い葉を食い尽くす。

< 図 カラマツアミメハマキの数の年変動 > スイスのカラマツ林におけるカラマツアミメハマキの数の年変動 Omlin and Herren (1975) を改変

個体数を抑えるブレーキ

まず増える方から考えよう。生物は本来、親の数よりも多くの数の子を産む。先進国の一部の人間を除き、両親（オスとメスのペア）が一生涯に産む子の数の平均が、2匹ということはまずない。数十や数百、種によっては数十万もの数の子を産む。つまり、個体数が平衡状態を保つよりも、はるかに余分な数の子を産んでいることになる。だから、条件さえよければ、短期間のうちに爆発的に増えることので

きるポテンシャルがある。

こうした増加を「ネズミ算式」とよぶことがある。かりに1匹のメスが2匹のメスを生み、生んだメスそのまま死ぬとしても、10世代後には、210匹(=1024匹)に増えることになる。実際のネズミはもっとたくさんの子を産むので、増え方はさらに激しいものになる。これは借金が膨れ上がることでよく使う「雪だるま式」と同じ理屈である。利息が一定でも、返済を怠ると、いつの間にか大変な返済額になってしまう。

しかし、生物の個体数の増加は、借金の増加とはひとつ重要な点で異なっている。それは、個体数が増えると、必ずある時点で増加にブレーキがかかることである。餌や棲み場所が無限でない以上、こうしたブレーキがかかるのは当然である。餌不足になると、1匹のメスが産む子の数が減ったり、親になる前に死ぬ確率も高まる。

また、棲み場所が足りなくなれば、他の場所を求めて移動するだろうが、その途中で野垂れ死にするかもしれない。

さらに、高密度になると排せつ物などで衛生状態が悪くなり、流行病が発生することもある。このように、個体数が増加すると、増加を抑えるような悪影響が出ることを「密度効果」という。

すべての生命がもつ「環境収容力」

密度効果が強くなると、やがて密度効果の負の力と、増加ポテンシャルが釣り合う状態になる。これが個体数の平衡状態である。この時の個体数を「環境収容力」という。どのような生物でも、かならず環境収容力がある。この値よりも数が多くなれば、密度効果により減少し、少なくなれば増加ポテンシャルが優って増加する。

これは、アクセルとブレーキの関係にたとえられる。時速50キロを厳密に順守する場合、45キロではアクセルを踏むし、55キロではブレーキをかける。また、30キロの時のほうが、45キロの時よりもアクセルを強く踏むだろうし、逆に70キロでていることに気づけば、驚いて55キロの時よりはるかに強くブレーキを踏むはずだ。

この例えを使うと、生物の個体数がある範囲で変動しながらバランスを保っている理由を説明できる。時速50キロの平衡状態で道路を走り続けることは、運転に相当習熟していないと難しい。

普通の人には、45キロや55キロの間を行き来しながら、50キロ前後で走ることになる。運転の下手な初心者は、40キロから60キロのバラツキがでるかもしれない。ブレーキは密度効果、アクセルは増加ポテンシャルとすれば、生物の数も環境収容力(制限速度)の前後を揺れながら変動しそうである。カラマツアミメハマキの例は、その極端な例である。アクセルとブレーキがそれぞれ効きすぎると、

とんでもなく大きい変動が続くのである。

第12回 ネットワークで維持されるバランス

「レスキュー効果」による復活

「バランス」と「絶滅」は、ふつう対立する概念である。強い外圧が働いてバランスが大きく崩れれば、生物の集団は絶滅してしまう。だが、集団が一つではなく、いくつもの小さな集団（以下、分集団とよぶ）に分かれていればどうだろうか。

ある分集団が滅びても別の分集団が生き残っていれば、集団全体は消滅しない。特に、生息地の環境条件が分集団ごとに異なり、また生息地の間を生物が往来できるのであれば、絶滅した分集団は復活することができる。これを、絶滅から救われるという意味で、「レスキュー効果」とよんでいる。

レスキュー効果による分集団の復活は、集団全体が長期間にわたって存続することを可能にしている。これは、「生息地のネットワーク構造で維持される絶滅と回復のバランス」と言い換えることができる。ここで重要なのは、個体数ではなく、分集団の数においてバランスが取れているという点である。

バシリスクが水面を走れる理由

この理論は少し難しいので、面白い比喻を紹介しよう。中米にはバシリスクという水面を走ることができるトカゲがいる。水面を走れるのだから、よほど体が軽いと想像するかもしれないが、水面の表面張力よりも軽い脊椎動物などはいない。そのかわり、バシリスクはものすごい速度で4本の足を交互に水面に叩きつけて走り去るのである。

もう少し正確に言うと、着水している足が完全に沈む前に、別の足を着水して蹴りだし、推進力を生んでいる。重要なのは、もし4本の足を同時に着水すれば、あえなく体全体が沈んでしまう点である。足送りの猛烈なスピードに加え、個々の足の着水が時間的に同調していないことで、体全体が沈むことなく前進できるのだ。

バシリスクの水面を疾走する姿は「ナショナルジオグラフィック」のサイトへ。

不安定な環境を生きる

ここで、バシリスクの一本一本の足を、生物の個々の分集団とみなそう。分集団レベルでは絶滅が不可避（つまり、各足は必ず沈む）であっても、それが同調していなければ、別の分集団から移入してきた個体によって分集団は復活し、集団全体が消失することはない（つまり、体が沈むことはない）。

分集団の絶滅と復活のバランスによって集団全体が維持されるのである。絶滅を0、存続を1として、それぞれを足し算すれば、個々の分集団が孤立した状態での足し算は $0 + 0 = 0$ であるが、分集団間の移動を含めた足し算は $0 + 0 = 1$ になるという理屈である。何だか騙された気がするかもしれないが、バシリスクの走り姿を冷静に思い起こせば、納得できると思う。

バシリスクの水上走行のような仕組みで維持されている集団は、不安定な環境に棲む生物で知られている。河川敷や草地に棲む生物がその代表格である。

河川敷は大水や洪水による攪乱が定期的につき、植物が旺盛に繁茂した場所が一夜で石ころだらけの河原に早変わりすることがある。また草地も人為による定期的な攪乱を受けている。日本のように温暖で降水量の多い地域では、草原は時間とともに樹林へと遷移していくので、攪乱がなければ、草地は維持されない。

絶滅と出現を繰り返すカワラノギク

カワラノギクという植物は、関東地方の河川敷にのみ生育する植物で、絶滅危惧種に指定されている。カワラノギクが好む環境は、石がゴロゴロした砂礫地である。なぜそのような環境を好むかといえば、他の植物との競争に弱いからである。

洪水による攪乱からの時間がたつと、他の植物が旺盛に繁茂し、カワラノギクは光や養分を奪われ、その場所から消えてゆく。だが、洪水によって攪乱が起こる場所は、あちこちに散らばっていて、しかも毎回同じ場所で攪乱が起こるわけではない。洪水のたびに上流から土砂や堆積物が運ばれ、河川敷の地形が変化するからである。だから、カワラノギクは攪乱からの経過時間が異なる分集団を形成している。

カワラノギクは、花を咲かせた後にタンポポのような冠毛のついた種子をつくり、遠くへ飛散する。古い分集団は、他の植物との競争に敗れて消えゆく一方で、攪乱でできた裸地には、種子が飛んできて新たな分集団が形成される。これは、まさに分集団の絶滅と出現が繰り返され、集団全体がそのバランスによって維持されていることを示している。

< 図 カワラノギク > 秋の河原のカワラノギク

カワラノギクは、多摩川をはじめとする関東地方の一部の河川敷に生息する。写真のような玉石河原を好む。 撮影：自然盆人

ジャノメチョウと草地のネットワーク

草地に棲む蝶類も分集団を形成しているものが少なくない。イギリスや北欧では、20年以上も前から草地に棲むヒョウモンチョウやシジミチョウの仲間が、草地のネットワークで集団が維持されること

が知られてきた。これは、日本の蝶についても当てはまる可能性が高い。

私たちは、千葉県の下総台地に点在する草地に棲むジャノメチョウの生態を調べたことがある。ジャノメチョウは、草地に棲む比較的大型の蝶で、草の上をゆっくり飛ぶので、個体数のカウントや捕獲が簡単にできる。

ジャノメチョウが発生する7月から8月にかけて、約2600匹もの蝶の翅にマジックペンで個体番号をつけ、14か所ある草地と草地の間の移動を調べた。酷暑の夏に、来る日も来る日も草地に出かけて蝶を捕まえ、翅に新たな番号を付けたり、番号を確認したりの地道な作業である。

その結果、一日当たり、数パーセントの個体が、別の草地へ移動していることがわかった。なかには、4 km 以上離れた草地へ移動している個体もいた。草地の間には、雑木林や宅地、国道、鉄道の線路などがあるにも関わらず、である。

日本の草地は、人間による草刈りや火入れ、家畜の放牧などで維持されている。下総台地でも、草地は定期的な草刈で維持されているが、数年放棄すると、背の高い草やササが生い茂り、ジャノメチョウは棲めなくなる。私たちが手を加えて残してきた草地のネットワークが、ジャノメチョウが長期間にわたって生き延びられる環境を維持してきたのである。

<図 ジャノメチョウ> 翅に番号で標識をつけたジャノメチョウ。生態調査のため約2600匹にこのように番号を記した。 撮影：明星亜理沙

<図 ジャノメチョウの移動> ジャノメチョウの草地から草地への移動。千葉県白井市における生態調査による。線が太いほど、移動の頻度が高いことを意味している。

第13回 減り続ける生き物たち 1

人口の急増と野生生物の受難

いま地球上には、70億人もの人間が暮らしている。数だけでいえば、小動物や微生物にはとうてい及ばないが、平均体重が50～70kgもある大型の動物でこれほどの個体数を維持している生き物は他にはいない。

その食と住を満たすため、人間は広大な面積の森林や草原、湿地などを開発し、農地や宅地に変えてきた。だが、人口がこれほど膨れ上がったのは、10万年ともいわれるヒトの歴史からみればつい最近のことである。50年前は約半分、100年前は約4分の1、そして千年前は20分の1に過ぎなかった。

日本の人口も似たようなものだった。長い戦乱の世が終わり、江戸時代になると新田開発などで人口

は増えたものの、元禄から幕末までの 150 年間は、3000 万人程度で安定して推移していた。明治維新後の文明開化によって人口はウナギ登りで増え続け、西暦 2000 年あたりで 1 億 2700 万人のピークを迎えた。その後、少子化で人口が減少に転じたのは周知のとおりである。

人口増加による土地改変は、野生生物の激減や絶滅をもたらしたことは想像に難くない。イギリスのように早くから開発が進んだ地域では、すでに 10 世紀頃にヒグマが、15 世紀にオオカミが絶滅している。しかし、多くの国々では、19 世紀から 20 世紀にかけて数多くの生物が受難の時代を迎えた。

日本では、明治維新からの数十年間に起きた文明開化による近代化と、戦後の高度経済成長期に、二つの質が異なる開発の大波があった。最初の大波の犠牲者はオオカミやカワウソ、トキやコウノトリといった大型の動物であり、戦後の大波では昆虫や魚などの小動物が大打撃を受けた。

予測できなかったニホンオオカミの絶滅

日本の歴史のなかで、江戸時代から明治時代にかけての社会の大変革はきわめて特異なものであった。農業中心の社会から、工業を中心とした科学技術の進歩が生産性を飛躍的に向上させ、人口の増加とそれによる自然の破壊が進んだ。

電気の普及、電車などの公共交通機関の発達、電話やラジオなどの通信手段の発達など、どれも現在の私たちの暮らしの根幹になっている。江戸から京まで、健脚でも 2 週間以上かかった道中が、維新後わずか 30 年の明治末期には、東海道線が開通して 10 時間ほどで行けるようになった。こうした便利さや豊さの裏で、さまざまな生き物が減少してきた。その代表格がニホンオオカミである。

江戸時代、将軍家や諸藩の大名は、たびたび鷹狩りや鹿狩りを行ってきた。鷹狩りは、鷹を使ってウサギやキジなどの小型の獲物を狩る行事であるが、鹿狩りは、鹿やイノシシなど、おもに大型の哺乳類を狩る行事である。現在の千葉県にある下総台地では、将軍家によって何度も大規模な鹿狩りが行われた。

享保年間に徳川吉宗が下総台地で行った鹿狩りでは、鹿が数百頭のオーダー、イノシシが十頭以上、さらに驚くべきことに、オオカミまでもが捕獲されている。オオカミは、もちろん 1905 年（明治 38）に絶滅したニホンオオカミである。幕末の嘉永年間に行われた鹿狩り（1849 年）ではオオカミの記録はないが、この時代まで下総台地ではオオカミが生き残っていたようで、現在の千葉県柏市や鎌ヶ谷市で安政 6 年（1859）に駆除の記録がある。つい 160 年前まで関東の平野部、それも江戸から 20km ほどの地にオオカミが徘徊していたとは、今の柏市を知るものには、まさに信じがたいことである。

明治になっても、一部の地域でオオカミは数多く生息していた。東北地方では牛馬を襲い、猛威をふるっていたのである。岩手県では牧畜を成り立たせるため、新政府の指導者である大久保利通は、高額な懸賞金をかけてオオカミの駆除を奨励した。そのわずか 40 年後に、オオカミが絶滅するとは誰も思わ

なかっただろう。

< 図 ニホンオオカミの剥製 > ニホンオオカミの剥製（岩手県産）、東京大学農学部森林動物学教室所蔵。ニホンオオカミの剥製は、世界で4体しか現存しない。

トキヤコウノトリ、カワウソなども、江戸末期まではどこにもいる普通種であったが、この時期に著しく減少したようだ。

いのち豊かな井の頭の水辺はどこへ

私は昭和30年代半ばの生まれなので直接体験はないが、満州事変から戦後の復興期に当たる時代は、日本人にとって試練の時期だった。戦争で多くの人々が犠牲になったのはもちろん、大多数の人が衣食住に不自由する時代だった。ところが、戦後の高度経済成長により目覚ましい経済発展を遂げ、わずか20年余でGNP世界第2位の経済大国へと駆け上がった。ところが、雑木林や草原、小川、水田、池など、身近な環境にすむ小動物のなかには、この時期に壊滅的に減少した種が多い。とくに田中内閣が推進した日本列島改造計画は、生息地破壊の最たるものであった。

『原色昆虫図譜』という戦前に出版された図鑑がある。私の父が若い頃に購入した本で、子供の頃から暇なときに眺めていた。昆虫標本をカラー写真にしたもので、当時世界最先端の昆虫図鑑であった。日本が領有していた台湾や朝鮮、樺太の昆虫も載っていて少し複雑な気分であった。

この本の中には、東京の井の頭公園で採集された水生昆虫の写真が圧倒的に多い。いま若者に人気の吉祥寺のすぐ近くである。タガメ、ナミゲンゴロウ、ベッコウトンボなどの採集地になっていた。いまでは、タガメやゲンゴロウは南関東から姿を消し、ベッコウトンボにいたっては、東日本では静岡県磐田市に確実な繁殖地が残っているだけである。

井の頭公園には今でも水辺はあるが、水質の悪化や岸辺の護岸工事などで絶滅したのであろう。

また、水生昆虫といえども、水辺だけが棲み家ではない。タガメは雑木林の落ち葉の下で越冬するらしいし、ベッコウトンボの成虫では、羽化後しばらくは草地や林の縁で小昆虫を捕って暮らす。本来、水辺と雑木林、あるいは草地といった異なる生態系のつながりが必要な生物なのだ。しかし、大都会と化した今の井の頭公園の周りでは、もはやこのような環境は残っていない。残念ながら、こんな希少な生物が暮らしていたいのち豊かな井の頭の水辺は、いまでは想像すらできない。

< 図 ベッコウトンボ > 東京・吉祥寺、井の頭公園産のベッコウトンボ。『原色千種昆虫図譜』（松村・平山：三省堂）より

< 図 歌川広重「井の頭の池 弁財天の社」 >。安政3年（1856）幕末の頃の制作。

背景の山並みは実際には見えないが、家康が祀られている日光連山の可能性が高いという。1年前の安政2年10月、江戸は巨大地震に襲われ、甚大な被害をこうむった。

第14回 減り続ける生き物たち 2

「人間の圧力」がなくて減少！？

江戸時代までどこにでもいたニホンオオカミやトキは、過度な狩猟や生息地の破壊で姿を消した。また、戦後間もない時代までは、池や小川にいくらでもいた水生昆虫や魚も、生息地の消失や水質の悪化で絶滅の危機に瀕している。どれも人間の生態系にたいする過剰な圧力がもたらした結果である。

ところが、その逆に人間の圧力がかからなくなったことで減少している生物も多いことは、あまり知られていない。ここでは、その意外とも思える例を見ていこう。

絶滅のおそれのある生物をリストアップした「レッドデータブック」という本がある。これは、環境省がさまざまな専門家に依頼して作成しているもので、定期的にリストが更新されている。危険度に応じて、絶滅危惧Ⅰ類、絶滅危惧Ⅱ類、準絶滅危惧などにカテゴリー分けされている。すでに述べた例でいうと、ニホンオオカミは絶滅種、ベッコウトンボは絶滅危惧Ⅰ類、タガメは絶滅危惧Ⅱ類、ナミゲンゴロウは準絶滅危惧である。

<図 レッドデータブック> 環境省が刊行しているレッドデータブック(2006)

動物では、1 哺乳類 2 鳥類 3 爬虫類 4 両生類 5 汽水・淡水魚類 6 昆虫類 7 貝類 8 その他無脊椎動物(クモ形類、甲殻類等)。植物では、9 植物Ⅰ(維管束植物)及び10 植物Ⅱ(維管束植物以外: 蘚苔類、藻類、地衣類、菌類) 計10分類群について作成されている。

蝶類は昔から愛好家が多く、もっとも数の減少の変遷がわかっている生物の一つである。レッドリストには63種が指定されている。特徴的なのは、そのうち約8割近い49種が草原や疎林(木がまばらに生える明るい環境)に棲む種であることだ。

広大な草原が開発されて、造成地や農地、ゴルフ場が変わったことが原因と思うかもしれないが、それは主要因とは言えない。人間が伝統的に管理してきた草原が放棄され、草原が樹林になってしまったり、種の多様性にとぼしい丈の高い草原へと変化したことが主な原因である。

草原は、人にも蝶にも“重要な場”

草地は少なくとも千年以上、おそらく数千年にわたり、日本人にとって重要な場であった。草は、田んぼの肥料として、牛や馬など家畜の餌として、また茅葺(かやぶき)屋根や蓑の材料として、種々の

用途があった。今では「遊んでいる土地」とされる「原っぱ」は、地元民の財産だったのだ。

しかし、戦後になって安価な石油と、それを燃料や原料にした動力機械や化学肥料などが普及するにつれ、草地の価値は失われた。価値がなければ放棄されるか、他の用途に転換される。市街地に近い草地は宅地などに転換されるだろうが、人口が少ない里山や山間地では、手つかずのまま放棄されることが多い。

日本のように降水量が多く、気温も割合高い地域では、草原は放っておくと森林へ移り変わる。言い換えると、草地が長期間維持されてきたのは、人間の管理や利用の結果なのである。

ここまで説明すればもう想像がつくと思うが、草原性の蝶が絶滅危惧種になったのは、草原の人為管理の喪失によるところが大きいのである。これは、「人為活動 = 生息地への悪影響」という一見常識的な図式が、草原の場合は真逆であることを意味している。草原性の蝶には、シジミチョウ、ヒョウモンチョウ、セセリチョウなど、さまざまなグループの種が含まれている。これらの蝶の幼虫は、マメ科、スミレ科、キク科、イネ科など、さまざまな種の草本を餌としている。人間が自身の生活のために営んできた活動が、それとは知らないうちに、多様な植物からなる草原を維持し、多様な蝶類を育ててきたのである。

ナデシコもヤマキチョウも、いつの間に...

古来より歌に詠まれてきた「秋の七草」も危機的状況にある。昔はごくありふれた植物だったが、いまではキキョウとフジバカマは環境省が指定する絶滅危惧種、オミナエシとナデシコも、あちこちの都道府県で地域レベルの絶滅危惧種に指定されている。いまでは、7種全部を見ることのできる場所は、相当なマニアでないと知らないようだ。

ただ、草原性の蝶の場合、環境が劇的に変わったわけではないのに、いつの間にかいなくなる場合も少なくないように思う。

私の出身は、長野県飯田市の郊外であり、1993年までは下伊那郡上郷町であった。実家は段丘面の台地にあり、子どもの頃、家の周りには桑畑や果樹園、田んぼが多かったが、宅地も広がり、いわゆる自然豊かな里山環境ではなかった。近所の川は護岸されていて魚は全くいなかったし、ホタルも滅多に見なかった。田んぼにはトノサマガエルはたくさんいたが、アカガエルは見たこともなかった。ただ、今は絶滅危惧種になっている蝶は結構いた。

ヤマキチョウやツマグロキチョウが庭に飛んできたこともあったし、ミヤマシジミも隣の家の畑で採ったこともある。だが、私が高校生になった1976年頃を境に、全く見なくなった。

これは想像だが、桑畑や果樹園が減ったこと、田んぼの畦の草の管理が徹底されたこと、小面積で点

在していた空き地が減ったこと、が原因ではないかと思っている。桑畑や果樹園には、そこそこ草が茂っていたし、当時の田んぼの畦や空き地は、今より粗放的に管理されていたように思う。そうした場所には、蝶の食草が点在していたのかもしれない。

<図 ヤマキチョウ> 希少種となったヤマキチョウ。2012年には、近い将来における絶滅の危険性が高いとされる絶滅危惧IB類に指定された。

<図 ウラギンスジヒョウモン> 同じく草原性の蝶、ウラギンスジヒョウモン。絶滅が危惧されていると言われても、にわかには信じがたいほど親しみのある蝶ではないだろうか。

桑畑、果樹園、畦、空き地は、どれも明るい開放的な空間であり、何も大規模な草原がなくても、「草原性の蝶」が生き延びることができる場所だったのである。蝶にとっては、食草以外に、成虫が蜜を吸いに訪れる花の存在も重要であるが、それに困ることもなかったはずだ。人家の庭先や、学校の花壇、中庭にある園芸植物が一役買っていたに違いない。

遠い記憶の中に、ヤマキチョウやウラギンスジヒョウモンなどが、園芸植物に吸蜜に来ている姿が今でも残っている。あの頃は、人間が創りだした「ほどほどに攪乱を受けた環境」の中で、草原性の蝶と私たちが共存していた。いまの故郷の家の周りは、残念ながら「ほどほど」を逸脱し、人間が便利に暮らすための無機質な空間に変質してしまったようである。

第15回 増えすぎた生物 1 野生動物

シカ、イノシシ、サル...野生動物による食害

多くの生物が減少の一途をたどるなか、最近とみに数が増えている生物がいる。これだけを聞くと一見喜ばしいことに思えるが、実はそうでもない。何事も過ぎたるは及ばざるがごとしである。

シカやイノシシ、サル、クマが農作物を食い荒らしたり、時には人に危害を加えたりというニュースは、いまでは珍しくない。だが、これは比較的最近になって起こり始めたことである。

私は高校卒業まで、つまり昭和50年代の初めまで長野県飯田市に住んでいた。都会人よりも野生動物の近くに住んでいたはずであるが、山手でクマが出没したから注意しろというニュース（有線放送も含む）が、せいぜい年に1度流れる程度であった。山作業の人がサルの群れに囲まれて石を投げつけられたとか、カモシカが植林したばかりの苗木を食べて困る、といった噂話は耳にした。だが、基本的に野生動物は遠い世界の存在で、シカにいたっては話題にすら上らなかった。

ところが、いまでは天竜川以東の南アルプスの周辺ではシカがものすごく増えて、ササが食いつくさ

れ、高山帯のお花畑も危機的状況にあるらしい。天竜川西岸の中央アルプス沿いの地域でも徐々に増えているようだ。

シカとヤマビル、1990 年前後からの記憶

私がいま住んでいる千葉県では、江戸時代末期までシカやイノシシが平野部にもいたらしい。まだオオカミさえいたのだから、当然といえば当然である。だが明治以降、シカもイノシシも急激に姿を消した。太平洋戦争後にはイノシシは絶滅し、シカも南房総の山地に数十頭が残るだけとなった。ところが、1970 年後半からシカは徐々に増えはじめ、1990 年代になると農作物被害も顕著になり、有害駆除も始まった。

南房総の清澄山には、東大の演習林という大学が管理する広大な森林がある。ここでは森林に関わるさまざまな研究がおこなわれていて、私も卒論の調査で 1982 年の 4 月から 10 月まで毎月演習林に通った。

この間、10 月に 1 度だけシカの鳴き声を聞いたが、姿はおろか、シカの糞や植物上に残された食べ跡さえも見たことがなかった。ところが 1990 年前後になると、林内や林道沿いでシカが頻繁に見られるようになり、好物のアオキは食べつくされて見つけるのも困難になった。さらに、シカに寄生する吸血性のヤマビルも爆発的に増え、30 分も山を歩けば体がヒルだらけになる有様になった。

八ヶ岳、日光、尾瀬や屋久島の生態系が危ない

ヤマビルに吸われるとすぐには血が止まらず、靴下やズボンが血で染まる。感染症などの付随した害はないのだが、生き物好きの私にとっても不快なこと極まりない。シカは 2010 年時点で、房総半島の約 3 分の 2 の地域に分布が広がり、生息数は 1 万頭にも達しているようだ。わずか 40 年ほどで、数が 200 倍にも増えた計算になる。

シカの増加は、いまや生物多様性や生態系に大きな脅威となっている。南アルプスをはじめ、八ヶ岳、日光、尾瀬などでは、希少な高山植物を減少させている。また屋久島では、島固有の貴重な植物がシカによって絶滅の危機に瀕している。

さらに、生態系の土台をも揺るがしかねない事態も起きている。森林の地表を覆っていた植生がシカに食いつくされると、大雨で土壌表面の落葉層が流されて地面がむき出しになる。ここにさらに大雨が降ると土壌の深層部も浸食され、土砂崩れが起きることもある。こうなると、ヒルが不快どころの話ではない。国土保全上の問題になりつつある。

< 図 シカによって裸地化した森林 > シカによって裸地化した森林の内部。大きなアカマツが松くい虫で倒れた明るい場所でも、林床の植生はシカに食い尽くされ、シカが嫌いな植物がまばらに生えて

いる程度である。兵庫県豊岡市。

< 図 シカが入れない柵 > シカが入れない柵の内部(右上)と外部(左下)の林床植生の違い。千葉県清澄山。

なぜ増えた？ 林縁ではシカの妊娠率が高い

シカの増加は北海道から屋久島まで、全国でほぼ時を同じくして起きている。その理由はいろいろ挙げられている。天敵であるオオカミの絶滅は100年も前から直接原因ではないが、狩猟が減ったこと、スギなどの若い造林地が増えて餌条件が向上したこと、人が山間沿いの農地の耕作を放棄したこと、などが有力視されている。

私たちが房総半島で行った研究によれば、林縁が多い場所でシカの妊娠率が高くなることがわかった。林縁とは、農地や林道、伐採地などの開放環境と森林が接する境界部分のことである。森林ばかりで林縁がほとんどない場所に住むメスジカは、妊娠率が50%程度であるが、林縁が十分ある場所では、ほぼ100%に達していた。

シカの密度が高い地域では、林内の草や低木は食いつくされ壊滅状態となるが、林縁や開放地には光が十分降り注ぐので、餌植物が豊富にある。シカは林縁にある豊富な植物を求めて、森の中から現れる。とくに人の活動が低下する夕方以降に、開放環境で餌を食べている姿がよく見られる。

ここで一つの疑問が生じる。現在のシカの高い妊娠率を林縁環境が支えているとしても、それが過去のシカの増加の原因であったかどうかである。これには明確に答えることはできないが、少なくとも1970年以降に開放地である農地が急激に増えたとか、伐採地が急激に拡大したという証拠はない。

ただ、農業従事者が年々減り続け、山間の水田などで耕作放棄が進んだのは、1970年代以降のことである。その背景には、人口の都市への流出や米の減反政策があったことは周知の通りである。林縁とそれに続く開放地は以前から存在していた。だが、とくに山間部を中心に農業活動が低下し、それが原因でシカが開放環境に出没しやすくなり、シカの栄養状態と妊娠率が向上して数が急激に増えてきた、という一連の因果の流れは極めて自然に思える。

< 図 ヤクシカとヤクザル > 屋久島の西部地域でのヤクシカとヤクザル。同じ場所で行動しているのが、よく見られる。サルによる樹上の採餌でこぼれ落ちたものをシカが食べる。写真提供：九州森林管理局屋久島森林生態系保全センター

イノシシは耕作放棄地に増えている

房総ではイノシシも急増している。先ほど述べた通り、イノシシはいったん絶滅したが、1980年代あたりに誰かが再導入した個体が増え続けているらしい。

イノシシはシカよりも後から分布を広げたが、いまではシカより広範囲に分布している。シカは年にせいぜい1頭の子しか産めないが、イノシシは3～5頭も産むことができる。だから増殖率は半端ではない。またイノシシはシカより力が強く、農地の周りを柵で囲っても壊して侵入することもあるので、農業被害も甚大になる。

私たちは、イノシシについても増加要因の分析を行った。その結果、耕作放棄地の面積が広い市町村ほど、イノシシの増加率が高いことがわかった。耕作放棄地はシカ同様、イノシシにとっても好適な餌場となっているのだろう。イノシシの場合、シカよりも作物被害の度合いが甚大で、被害防止の対策にも手間暇がかかる。だから人手の少ない地域ではイノシシの被害が、さらなる耕作放棄を誘発し、イノシシをさらに増やすという悪循環が生じている可能性が高い。こうした悪循環は、いったん起こりだすと、よほどのことがない限り止まらない。だから、増殖力の高いイノシシを少しくらい駆除しても、問題解決にはなかなか至らないのが現状である。

そうしたなか、最近面白い取り組みがあることを知った。滋賀県のある山村では、耕作放棄地に牛や羊を放して、イノシシなどの野生動物が近づきにくい緩衝帯を作り、農業被害を軽減しているのである。おそらく、家畜の存在だけでなく、人間が家畜の面倒をみるために出入りすることで、野生動物の心理的脅威になっているのであろう。これがイノシシの密度の増加を抑えているかどうかはわからないが、生態学的な知見をうまく活用したいへん興味深い知恵であり、他の地域でも広がりを見せている。

< 図 放牧が行われている耕作放棄地 > 放棄されて5年近く経過しているが、牛や山羊の採食で草丈は低く維持されている。滋賀県甲賀市。

第16回 増えすぎた生物 2 外来種

外来種による生物多様性「第3の危機」

シカやイノシシなどの野生動物と並び、増えすぎて問題になっている生物がいる。もともと日本にはいなかった「外来種」(あるいは外来生物)とよばれるグループである。一般には、明治以降に海外から入ってきた種をそうよんでいる。一方、外来種に対して、もともと日本にいた種を「在来種」という。

外来種が引き起こす問題はいろいろあるが、特に深刻なのが、在来の生物多様性に与える影響である。環境省が作成した「生物多様性国家戦略」のなかでは、生物多様性の「第3の危機」として外来種の影響が取り上げられている。世界的に見ても、いまや生息地の劣化や破壊、過剰な採取と並ぶ悪名高き要因となっている。

外来種の凄まじい影響を二つほど紹介しよう。グアム島には太平洋戦争後、荷物に紛れ込んでミナミアオガシラという大型の蛇が侵入した。天敵の少ない島で増殖したミナミアオガシラは、20年ほどの間に、在来の鳥類の多くを激滅または絶滅させてしまった。

また、アフリカのビクトリア湖には、そこにしか生息しない350種ものカワスズメ科の固有種が住んでいたが、人間が食用目的で湖に放したナイルパーチという大食漢の肉食魚により壊滅的な打撃を受けた。一説には、200種近くが絶滅したとされている。これらは、教科書や映画などでも紹介される例であるが、私たちの身近でもそれに近いことが起きている。

<図 ナイルパーチ> ビクトリア湖に接するウガンダ共和国の ナイル川で捕えられた大型の淡水魚「ナイルパーチ」

歴史ある日本のため池は生物の宝庫

日本には農業用のため池が各地に点在している。海外の人にはすぐには信じてもらえないのだが、日本のため池は希少な昆虫、魚、水生植物の宝庫である。人間が造った生態系ではあるが、数百年から千年以上の歴史があり、その環境にうまく適応した生物が数多くいるからだ。

ところが、いまのため池でその面影を見ることは相当難しくなってしまった。ため池が潰されたり、汚染されたりといった直接的な理由もあるが、それ以上に外来種による影響が深刻である。

アメリカザリガニ、オオクチバス、ブルーギル、ウシガエル、ミシシッピーアカミミガメなど、アメリカ合衆国から導入された生物が大半を占めている。もちろん、外来種が在来種と平和に共存できれば問題は起きないのだが、実際は在来種を食いつくしてしまうことが多い。

私たちは、埼玉県滑川町周辺に点在するため池で外来種の影響を調べたことがある。オオクチバスやブルーギルがいるため池では、モツゴ、ヨシノボリ、スジエビ、トンボ類といった在来種はわずかしか発見できず、外来魚がいないため池と比較するとその差は歴然だった。

こうした外来魚による影響は、ため池だけでなく、琵琶湖や霞ヶ浦のような大きな湖でも起きている。

生態系エンジニアになったアメリカザリガニ

アメリカザリガニ（以下ザリガニ）は子供たちの人気者で、一見愛嬌のある生き物だが、実は非常に問題多き外来種である。ザリガニが侵入した池では、ベッコウトンボやシャープゲンゴロウモドキなど、第一級の希少生物が激滅ないしは絶滅した例もある。

ザリガニが厄介な理由は、単に在来生物を食べることだけではない。ハサミを使って水草を切りまくり、ため池から消滅させてしまう。水草を切るのには食べるためではないので、専門家の間でもその理由が謎だった。ところが最近の私たちの研究により、どうやら自身の餌を発見しやすくするための行為であることがわかってきた。水草の量とザリガニの餌捕り効率には反比例の関係があり、水草が少なくなるとザリガニの成長が良くなることが確かめられたからだ。ザリガニは水草を「除草」し、自分にとって都合のいい環境に変えていたのである。

見た目は賢そうに見えないが、ずいぶんしたたかな生き物である。このように、自分で環境を物理的に変えてしまう生物は、「生態系エンジニア」とよばれている。

他には、ビーバーが川沿いの木を切り倒してダムを造り、自分にとって暮らしやすい環境を整えている例が有名である。もちろん、ザリガニによる環境の「エンジニアリング」は、元来ザリガニのいなかった生態系にとって大きな痛手となる。水草は水生昆虫や小魚などの隠れ家や産卵場所にもなっているからだ。ザリガニは在来種の生活基盤を根本から破壊しているのである。

ザリガニは、もともとウシガエルの餌として日本に持ち込まれた。そのウシガエルは食用ガエルともよばれ、食糧難の時代は日本人も結構食べていたようだ。以前は渋谷あたりの居酒屋でも「カエル」としてメニューにでていた。

ウシガエルはその名の通り、太く唸るような声を出す巨大なカエルで、その声を一度聞いたら忘れることはない。他のカエルや昆虫など、口に入るものは手当たり次第に食べるので、ウシガエルが定着したため池では、在来種のツチガエルなどの両生類や水生昆虫がほぼ消滅してしまう。ザリガニよりも移動能力に優れているらしく、山間の孤立したため池でも時に見かける。これもまた厄介な外来種である。

< 図 水草を食べるアメリカザリガニ > 著者の研究室の学生が、水草を食べているアメリカザリガニを見つけて撮影した。ザリガニの背中には個体識別用の番号が記されている。撮影：西川千里

< 図 ため池の変貌：アメリカザリガニの侵入後、ため池の変貌：アメリカザリガニの侵入前 >
アメリカザリガニの侵入前（下）と後（上）におけるため池の変貌。侵入前は、水草が豊富に繁茂し、シャープゲンゴロウモドキも多数生息していたが、数年後にはいずれも姿を消した。石川県金沢市。撮影：西原昇吾

外来種の駆除は、柔軟な発想で臨みたい

外来種が同じ生態系でひしめいていれば、それらの間で何らかの関係があるはずだ。実際、ウシガエルの胃の内容物を調べるとザリガニが頻繁に見つかるし、オオクチバスの胃の中からもブルーギルやザリガニが見つかる。在来種がすでに姿を消しかけているのだから、外来種どうしが食いあっているのは不思議ではない。こうした状況下で、特定の外来種だけを除去すると、思わぬ結果が生じることがあ

る。

以前、埼玉県のため池でオオクチバスの除去が、ため池の生物相をどう変えるか調べたことがある。在来のモツゴやヨシノボリが増えたまではよかったのだが、外来のザリガニも急増してしまった。それが原因で、ヒシ（水草の一種）が消滅し、ヒシを産卵場所にするイトトンボが激減してしまった。ある外来種の除去が、別の外来種の増加を招き、新たな別の問題を引き起こしたという事例である。こうした皮肉な結果は、複数の外来種が蔓延している太平洋の島々でもよく知られている。

外来のヤギやブタを駆除したところ、外来のつる植物が大繁殖したとか、外来のネコを駆除した後に、外来のクマネズミが増えすぎたといった例である。どの生物が、どの生物の増加を、どの程度抑制しているのか、事前に察知することは不可能ではないが、そう簡単なわけでもない。肉食動物にしても、草食動物にしても、特定の種だけを餌にしていることは稀だからである。事前にくわしい生態調査をするとともに、まず駆除を試行的に行ってその結果をチェックし、後の駆除対策に生かしていくという柔軟な発想が求められている。

思い出のため池には、マダラヤンマもいた

ところで、私が住んでいた飯田の家の近くにもため池があった。小さい頃は親に怖い話を聞かされたりして近寄れなかったが、中学校の後半になるとトンボを採集によく出かけるようになった。周囲を田んぼや人家に囲まれたため池で、見た目によい環境には思えなかったが、図鑑で見たいと思っていた種がたくさん住んでいることがわかって、驚きの連続であった。

正確には覚えていないが、数年間で30種以上のトンボを目撃した。長野県では他に確実な産地が1か所しかなかったマダラヤンマも毎年少数ながら発生していた。そのため池は外来種に侵食される前に、残念ながら埋め立てられてしまった。だが、もし埋め立てられなくても、やがてオオクチバスやザリガニが侵入し、結局同じ運命をたどったのではないかと思う。

第17回 増えすぎた生物 3 共通する仕組み

「数が増えたまま減らない」性質とは

一般の人にはあまり知られていないが、外来種と増えすぎた野生動物では研究ジャンルが違うようで、研究者の顔触れはほとんど重複しない。だが、生き物にとってそのような区分けは無意味であり、両者に共通する「数が増えたまま減らない」という性質には、共通した仕組みがあるはずだ。幸い、私はこの2つの研究テーマを扱ってきて、これまでもいろいろと考えをめぐらしてきた。ここではまとめて考えてみよう。

まず単純に考えると、数が増えすぎる事情は、天敵が少ないことと餌が豊富なことの2つに集約さ

れる。外来種は侵入先の生態系では新参者だから、有力な天敵がないことは想像に難くない。

また野生動物の増加も、天敵による抑止力の低下、つまりオオカミの絶滅や人間の狩猟の減少でタガが外れてしまったことは間違いないだろう。だが、ある生物の数が増えれば、その餌は減るはずである。シカが増えすぎた地域では、森林の林床にシカの餌となる植物はほとんどなくなっている。アメリカザリガニが高密度にいるため池では、ザリガニが好む水生昆虫はほとんど見られない。だがシカやザリガニは一向に減る気配はない。野生動物や外来種を支える「減らない餌」が何なのか、なぜ減らないのかについて考えてみよう。

野生動物にとっての減らない資源

シカが林縁の多い環境で妊娠率が高まること、それは開放環境で豊富にある餌植物に支えられていることは、すでに述べた通りである（第15回）。森林の内部は薄暗いので、いったん草や灌木を刈り取ってしまうとそう簡単には回復しない。いっぽう、田んぼの畦や道路沿いの草地は、刈り取っても数週間もたてば草丈が回復する。だからシカにとって、林縁から続く農地や伐採地はまさに食い尽くしの起こらない餌場と言える。

くわえて、開放環境には質の良い餌も多いようだ。私たちが房総半島で行った調査では、林縁が広がる地域で見つかるシカの糞には、窒素が多く含まれていた。草食動物にとって、炭水化物は植物からいくらでも摂取できるが、窒素化合物であるタンパク質は不足しがちである。野菜は肉よりもタンパク質がはるかに少ないことを考えれば、すぐに想像がつくだろう。おそらく、開放環境では植物の種類も豊富なので、シカは質の良い餌を選んで食べることができるのだろう。

耕作放棄地が多い地域でイノシシの増加率が高いのも、おそらく同じ仕組みである。一般の印象からすれば、シカやイノシシは、農地や原っぱの動物ではなく、森の動物である。この印象は間違いではない。だが、それは人や車の通行の多い日中に森に隠れているからである。夕方になると開放環境にでてきて、減らない餌を好きなだけ食べることができる。

< 図 野生のニホンジカ > 明るい林の縁で餌の植物を食べている。撮影：浅田正彦

外来種にとっての減らない資源

数が増えても減る気配のない外来種の場合はどうだろうか。私たちが調べてきた事例をもとに考えてみよう。

関東地方のため池には、ほぼ確実にアメリカザリガニとウシガエルが棲んでいる。だが、ため池には餌になりそうな水生昆虫や両生類は、すでに食べつくされてわずかしか見つからない。魚はいるかもしれないが、ザリガニやウシガエルは元気な魚を捕えるほど器用ではない。

もう10年以上前になるが、埼玉県のため池で調査していたころ、私たちは周辺の雑木林から流入してくる落ち葉がザリガニを支えているのではないかと考えた。ザリガニは動物質の餌が好物だが、落ち葉も粉々に砕いて盛んに摂食することがわかっていたからである。これを証明するため、生物体に微量に含まれる炭素と窒素の安定同位体という物質を分析してみた。その結果、ザリガニの体は、ため池に住むユスリカや魚ではなく、その大部分が落葉、またはそれに付着している微生物や藻類に由来していることがわかった。落ち葉は毎年秋になると、周囲の雑木林から大量に流入してくる。もちろん、ザリガニがため池内の落ち葉をいくら食べても、翌年の流入量が減ることはない。栄養面からいえば、昆虫のような動物質のほうが優れているが、質の悪さをカバーできるだけの十分な量があるに違いない。

< 図 ため池に棲むウシガエル > 食用ガエルとも呼ばれるウシガエルは、人間の手のひらよりも体が大きい。撮影：小林頼太

外来種が外来種を餌にする

ウシガエルはそのザリガニを頻繁に食べているようで、胃が大型のザリガニでパンパンに膨れ上がっていることもある。そもそも、ウシガエルの餌用にザリガニが日本に持ちこまれたのだから当然であろう。ただし、ウシガエルがザリガニを激減させるほどの効果はない。ザリガニはふだん水底にいて、水面近くに上がってきた個体のみがウシガエルの餌食になっているに違いない。

もうひとつ注目すべきは、ウシガエルの胃のなかに、さまざまな陸上の昆虫が含まれていることである。バッタ、ガの幼虫、時にはスズメバチといった、およそため池の生物とはいえない餌が見つかる。昼間は池でじっとしているが、夜になると水面を離れて、近くの草むらや林に遠征して餌を食べているに違いない。池の面積に比べて、周辺の陸の面積は無限大といってもいい。だから、陸でいくら餌を食べても、餌はそう簡単に減るはずはない。ウシガエルも、やはり減らない餌に支えられているようだ。

< 図 ウシガエルがアメリカザリガニを吐き出したところ >。外来種が外来種を食っている典型例である。撮影：小林頼太

遠因は共通して「人間活動の低下」

野生動物であるシカやイノシシと、外来種であるザリガニやウシガエルは、どれも動物という以外に、一見何の共通点もなさそうに思える。生活場所も、類縁関係も、専門家の研究ジャンルも違う。だが、両者ともに生態系に大きな影響を与えるほど数が増えているのに、一向に減る気配がないという点において、大きな共通点がある。ここで紹介した減らない餌の正体こそが本質的な共通点といえる。だが、それ以外にも重要な共通点がある。

シカやイノシシにとって好適な開放環境、すなわち農地や伐採地、道路は、人間が造りだした環境

で、そこを野生動物がどの程度利用できるかも人間活動の多寡が影響している。つまり、人口減少や農業活動の低下が、野生動物の増加の遠因といえる。

一方、ため池の周辺の雑木林は、長年にわたって薪や堆肥のための落ち葉の採集場所だった。また、ため池そのものも定期的に水を抜いて、底に堆積した落ち葉などの有機物を外に持ち出して維持されてきた。今では、雑木林もため池も放置され、林は茂り放題、ため池には落ち葉がたまり放題になっている。つまり人間活動の低下が、ザリガニが大繁殖し続けることができる場を提供していると言える。当然、ザリガニを好物にしているウシガエルにとっても天国のような環境である。

まずは根本原因の究明を

本来、野生動物と外来種では、管理の目的が異なっている。在来種である野生動物は、適正な密度に維持・管理していくことが目標になるが、外来種は可能な限り根絶を目標にする。だが、減らない餌を放置したままで、狩猟や駆除だけで管理目標を達成することは、原理的に困難なはずである。その点、前々回に紹介した耕作放棄地での放牧は、ある意味で根本原因にメスを入れる画期的な試みの一つである。

また、ベッコウトンボの貴重な生息地である静岡県の桶が谷沼では、ため池周辺の樹木の間引きが試行的に行われているが、これがザリガニの餌を減らす一助となるかもしれない。もちろん外来種の場合、減らない餌が何であるかはケースバイケースであるが、必ずカギとなる餌資源があるはずだ。こうした根本原因の究明に生態学的な視点が役立つはずである。それが特定できれば、あとは地域の実情に応じて具体的な知恵を出していけばよいのではないだろうか。

第18回 生態系の治療 1 トキの野生復帰

自然は一度完全に失われれば取り戻すことはできない。また、生物の種も一度地球上から絶滅すれば、いかに進化の力をもってしても復元することはできない。人間は死んだら生き返らせることができないのと本質的には同じである。だが、今はまだ諦めることはない。完全に絶滅した生物は、そう多いわけではないし、自然にもまだまだ治癒力が残されているからである。

佐渡のトキ、豊岡のコウノトリ

この連載の第2回でも紹介した佐渡島トキの野生復帰は、兵庫県豊岡市のコウノトリとともに、日本を代表する生態系の再生の取り組みである。

トキもコウノトリも、長年、少なくとも明治初期までの1500～2000年間は、日本人の農耕生活と共存してきた生物である。人間が造った水田やそれに連なる水路、草地などの複合生態系を季節を通してうまく利用し、また営巣場所には、これまた人間の資源採集の場であった松林や雑木林を利用してき

たからである。その意味で、トキやコウノトリは、生態学的に見て人間との「共存」よりもむしろ「共生」に近い関係にあったと思われる。

トキやコウノトリにとって、水田は、両生類や水生昆虫、ドジョウ、甲殻類などが豊富で、餌の採りやすい浅い止水域であり、人間の農耕の開始により生息域が格段に広がったのではないか。少なくとも一方の種が他方の種から恩恵を受けるという意味での、「片利(へんり)共生」であった可能性は高い。

海外でも、いったん地域的に絶滅した生物を、別の地域から導入する試みは活発になっている。その際には、遺伝的にも生態的にも絶滅した元の集団に近く、導入しても外来種のような問題を引き起こさないかどうかを慎重に見極めたうえで行われている。また、導入された個体が自力で世代交代し、長期にわたって生存できるだけの自然条件を備えているのか、また地域社会がそれを受け入れ、支援できる体制が整っているのか、といった条件も重要である。これらの具体的な基準については、国際機関であるIUCN(世界自然保護連合)によってガイドラインが示されている。動物園に人気取りのために珍しい動物を連れてくるのとは、まったく次元が違う話なのである。

採食する環境の再生に始まる

ところで、海外では再導入(reintroduction)がもっぱら使われるが、日本では野生復帰の方がややメジャーである。また、日本では両者はほぼ同義に扱われることが多いが、基本的には再導入は手段であり、野生復帰はその結果としての定着を意味しているようである。

トキの野生復帰を成功させるには、トキを絶滅に導いた要因を取り除くことが必須である。過度の狩猟を別とすれば、トキの餌環境が劣化したこと、つまり生態系の劣化こそが原因だったはずである。ならば、トキが採食する水田や河川などの環境を再生すればよいことになる。ただ、これが一筋縄ではいかない。

水田での農薬使用が、カエル、ドジョウ、昆虫類の減少を招いたことは明白であるし、コンクリートの水路や排水装置で水を管理し、イネが植わっている時期以外は田んぼを乾かす(乾田化)ことが、上記の生物を激減させたことも明白である。しかし、これは稲作を労力的・費用的に効率的に行うためには必要な措置であったはずだ。それをいまさらトキやカエルのために元に戻すことに喜んで協力してくれる人は、決して多くないだろう。そうしたなかで、農家をはじめとした地域社会の協力を得るには、それなりの動機づけが必要になる。そのひとつが、米の認証制度である。

< 図 水田の脇に作られた「江(え)」> 真夏や秋～冬にかけて田んぼの中に水がなくなっても、江には水が残っているので、カエルや水生昆虫が暮らすことができる。撮影：山中美優

佐渡市が実施する米の認証制度

佐渡市では農薬の使用量を半分以下に抑えることに加え、1)冬期に田圃に水を湛える、2)田んぼの脇に「江」とよばれる溝を造る、3)田んぼと水路の間に魚道を造る、4)通年湛水するビオトープを造る、の4項目のどれか一つの取り組みを行うことで、そこから収穫された米を認証する制度を実施している。認証された米はブランド化され、通常米よりも高値がつく。値段の高いコメをわざわざ買う消費者はいないと思われるかもしれないが、そうでもない。トキや生態系を再生することに関心のある人たちだけでなく、最近は食の安全や安心に対する消費者の嗜好も高まっているからだ。

生産と消費、そして環境保全の三つが好循環し、その結果として地域社会が活気づくことこそがトキの野生復帰を成功に導く鍵となるのである。

ただ、そのためには科学的な達成度の評価が不可欠である。公共事業で高速道路や飛行場をせっかく造っても、利用者がろくにいないような状況では、単なる金の無駄遣いであり、事業の失敗である。それと同じように、いくら認証米制度で上記の取り組みを行っても、肝心の生態系が復元し、トキが自然界で自活できるようにならなければ意味がない。

< 図 佐渡市における認証米のロゴマーク >

もう一つの指標、サドガエル

また、自然科学的な側面だけで考えても、トキはシンボルであり、その追跡調査だけに終始しては本筋を見誤ることになりかねない。佐渡島でトキが増えてきても、どこでもトキが飛来するわけではないだろう。しかし、トキがあまり来ない場所が生態系として価値が低いわけではない。トキは生態系の高次の捕食者であり、確かにさまざまな生物の存在に支えられてはいる。だが、別の見方をすると、バイオマスとしての餌が多い環境は利用するだろうが、そこが生物の多様性が高いとは限らない。

生態学的に考えても、種の多様性と生態系のバイオマスが、1対1の関係ではありえないのは明白である。だから、トキ以外にも、水田やその周辺環境に依存する指標性の高い生物を抽出し、継続的にモニタリングしていくことが必要である。幸い、佐渡には最近新種として記載されたサドガエルがいる。世界中で佐渡でしか見つかっていない種である。

このカエルは、平野部から里山に至る水田にところどころ分布している。他のカエルと違ってオタマジャクシで冬を越すため、乾田には生息できない。環境保全型の農業で今後分布の拡大が期待される種であり、指標としてはもってこいである。

また科学的な評価は、やり放しでは意味をなさない。地域社会はもちろん、消費者にもフィードバックする仕組みを作る必要がある。認証米は環境保全をうたっているのだから、付加価値を支払った消費者にその成果を報告するのが筋であろう。そうしたフィードバックがあれば、消費者は納得して購買を継続するに違いない。いずれにせよ、自然と社会の相互作用の好循環を持続させる仕組みづくりが鍵

となるはずである。

< 図 サドガエル > 2012 年に関谷國男氏らにより新種として記載されたカエル。世界で佐渡島にしか生息していない。撮影：山中美優

地域社会の再生に通じる

ところで、絶滅した生物を再導入することや野生復帰に否定的、ないしは冷淡な研究者も散見される。実は私自身も、10 年前はその類であった。だが今は違う。以前より私が少し賢くなったからだと思っている。理由を三つ挙げよう。

まず、野生復帰は種レベルでの絶滅を防ぐ有力な手段の一つであるからだ。たとえば、トキは中国に野生集団がいるのは確かであるが、限られた地域に住んでいる集団は、将来の気候変化や人為による環境変化で絶滅する可能性がないわけではない。離れた地域で複数の集団が維持されていれば、それらすべてが共倒れするリスクは非常に低いに違いない。これは、希少種を複数の動物園で分散飼育してリスクを回避するのと同じ考えである。野外だからと言って別扱いする論拠はないはずである。

二つめは、トキやコウノトリのように、生態系食物網の上位にいる生物の野生復帰の実現は、それに関わる多様な生物種、そして生態系を丸ごと再生することを前提としているからである。だからこそ、トキのことだけを考えるような狭い見方は、意味をなさないのである。

最後に、日本の里山的な環境に住む生物の野生復帰は、必然的に人間の環境に対する積極的な働きかけや協力が必要になり、それが生物多様性に対する意識の向上、ひいては地域社会の再生にも通じる可能性があるからである。むしろ、地域再生あっての野生復帰の実現と言えるかもしれない。

第 19 回 生態系の治療 2 外来種の駆除

外来種が蔓延した生態系では、生態系が丸ごと改変されてしまうことが多い。とくに、島や池などの半ば閉鎖された生態系は、一度外来種が侵入すると一気に数が増えてその影響が広がってしまう。ただ、そうした生態系は比較的閉じた系なので、トキやコウノトリの野生復帰ほど人間の利害が複雑に絡むことはなさそうである。

端的にいえば、いかに効率的かつ持続的に外来種の影響を取り除くかという問題に集約される。ただ、そうは言っても実際は簡単に事が運ぶわけではない。

ハブ駆除に導入されたマングースの駆除

マンガースはイタチを少し大きくした程度のやや小型の肉食哺乳類で、元来は熱帯アジアに広く分布しているが、日本には生息していない。奄美大島や沖縄では、ハブの駆除を目的にフイリマンガースが導入されたが、実際には地域固有の両生類、爬虫類、哺乳類などを激減させてしまった。

奄美大島では、2000年以降、環境省主導で大規模なマンガース駆除事業が進んでいる。駆除事業が始まった当初、マンガースは約6000頭いたと推定されるが、駆除の効果があつて2011年時点で400頭以下にまで減少している。だが、密度が減ると駆除の効率はどんどん低下するのが常であり、完全に根絶させるのは至難の業である。

マンガースに限らないが、外来種の駆除の本来の目的は、生態系を元の姿に復元することであり、その手段として駆除や根絶がある。もし根絶が難しいとしても、生態系がある程度復元できれば、駆除事業は一定の成果を挙げたと言えるはずだ。ただ注意すべき点は、わずかな数でも残っている以上、手を緩めるとすぐに数は増えてしまうことである。だから外来種の駆除は長期的に続けなければ意味がない。

一つのため池のような場合はともかく、奄美大島のような広大な島で駆除事業を継続するには、莫大な資金と労力が必要である。それを維持するには、駆除の成果、すなわち在来種がどれほど回復しているのかを裏付ける科学的な証拠が必要である。

アマミノクロウサギなど、在来種の増加を確認

奄美大島では、私の学生が中心になって2003年から数年おきに在来種の密度のモニタリング調査を行ってきた。国の駆除事業は、マンガースの駆除そのもので予算的にも労力的にも手いっぱいだったため、調査に必要な資金のほとんどは自分たちの研究費や一部自腹で賄ってきた。

調査法はいたってシンプルである。動物の観察しやすい夜間、奄美大島の中央を通る林道をゆっくり車で走り、車中から目撃された種と個体数を記録する。この方法で記録できる種は、比較的大型のものに限られるが、それでも世界中で奄美大島とその周辺の島にしか生息しないアマミノクロウサギ、アマミシカワガエル、オットンガエル、アマミハナサキガエルの4種については、定量的な結果が得られた。

まず4種いずれについても、マンガースの減少とともに着実に増加していることが確認された。だが、それだけでは目標の達成程度はわからない。数値目標がないからである。一般に、外来種が侵入する前に在来種がどれほどの密度で生息していたかに関する情報は、めったにない。奄美大島の場合も状況は同じで、マンガースの侵入前は上記4種とも、島に広くいたという定性的な情報しかなかった。そこで、私たちは生態学の知識を使って目標密度を推定することを思いついた。

< 図 アマイシカワガエル 奄美の道路標識 > 奄美大島に固有のカエル。日本で最も美しいカエルである。 撮影：深澤真梨奈 右：奄美の道路標識。アマミノクロウサギが描かれた「飛び出し注意」の道路標識。 ©greensnail / PIXTA

駆除事業の正当性と継続の必要性

この連載の第 11 回の「密度効果」の話思い出していただきたい。あらゆる生物は数を増やすポテンシャルがあるが、数が増えるにつれて増加にブレーキがかかり、やがて「環境収容力」とよばれる値の周辺で一定になる。

もちろん、環境変化などによる年変動はあるが、それでもある一定の範囲内でバランスはとれているはずである。環境収容力の推定方法の詳細は省くが、ある程度の長期データがあれば割合簡単に推定できる。そして、これが復元の目標値として使えるはずだ。データを分析した結果、観察した林道のうちで、少なくとも 30%以上の場所でこの数値目標に達していた。ただその一方で、まだ 25%ほどの地域でほとんど回復していないこともわかった。これは、最初にマングースが放された場所に近い地域である。在来種の移動能力が高くないので、まだ周辺地域から侵入してきていないのであろう。この地域でもマングースの密度はすでに低下しているので、駆除事業を継続していけば、やがて在来種が回復するのは間違いない。

この結果は、過去の駆除事業の正当性と、今後の継続の必要性を訴えかける強い根拠となるはずだ。あとは、資金を提供する側の行政や納税者たる国民が、どの程度その重要性を理解し、賛同するかであろう。生態系の治療という観点からすれば、すでに診断方法が確立している状況といえる。課題としては、より効果が高い治療法、つまり駆除方法を開発する余地が残されている。

絶滅危惧種が住める環境づくりを

外来種が、絶滅危惧種を更なる絶滅の淵に追いやっている例はほかにも多数ある。だが、外来種を根絶して問題が完全に解決した事例は非常に限られている。南太平洋の島での毒餌を使ったクマネズミの根絶や、小笠原の小さな島に侵入したヤギの根絶があるに過ぎない。

よく考えると、生物とは不思議なものである。かたや手厚く保護しても絶滅してしまう種もいれば、目の敵のように駆除しても一向に減る気配のない種もいる。外来種として問題になっている生物は、実際に侵入した種の氷山の一角に過ぎない。その陰に、「外来種」となる前に絶滅した種が無数にいたはずだ。いま問題になっている外来種は、選りすぐりの「エリート」であり、そう簡単に根絶できないのは当然かもしれない。

静岡県の桶ヶ谷沼は、日本では数か所しかいないベッコウトンボの生息地である。そのほかにも多数の希少なトンボが住むトンボの楽園であった。だが、1990 年代後半にアメリカザリガニが大発生し、

その直後に激減してしまった。減少の原因はザリガニだけではないかもしれないが、ザリガニを排除した柵のなかではベッコウトンボが羽化できるので、ザリガニの影響が強いのは間違いない。ザリガニが大発生してから間もなく、地元の高校（磐田南高校）の生物部が、沼の近くに多数のコンテナ（水を溜めた大型の容器）を設置したことで、現在までかろうじて世代をつないでいる。だが、そのコンテナ周辺も木が茂って、ベッコウトンボが好む開けた環境でなくなってしまった。いまでは、沼ペリに作られた囲いの中と、近くの小高い草原に設置されたコンテナ群で数を保っている。だが、その総数は1000匹以下であり、絶滅の危機に瀕している状況には変わらない。

いっぽう、沼でのザリガニの駆除は、市民が中心となって、すでに10年以上にわたって行われている。ザリガニの数は目に見えて減っているわけではないが、駆除の効果で多少の減少傾向にはあるようだ。完全に生態系を元の状態に戻すことは無理かもしれないが、こうした地道な取り組みで何とか希少なトンボが住める環境が維持されている。

<図 ベッコウトンボ> 環境省の絶滅危惧Ⅰ類に指定されている希少なトンボ。戦後間もない頃までは各地に広く分布していたが、いまでは日本で数か所しか確実な生息地がない。

<図 設置されたコンテナ> 設置されたコンテナ（水をためた大型の容器）。桶ヶ谷沼の周辺の小高い草原。ベッコウトンボの多くは、こうした野外の人工的に隔離された水域で幼虫期を過ごしている。

成功と失敗の記録を先の世に残す

奄美大島のマングースのように、国が多額の資金を投入して外来種駆除が行われるのは、むしろ例外的である。桶ヶ谷沼のように地元のボランティアを中心とした地道な活動が、地域の生態系や生物多様性、そしてベッコウトンボのような日本の希少生物を守っているのである。

今後の課題として、生態系再生の努力と成果を、数値として残すことが必要である。たとえば、外来種の駆除個体数、駆除に使った罠の数、日数、在来種の個体数の変遷といった記録である。こうした定量的な記録は、何が成功に導き、何が失敗に導いたのかを推測するうえで、数十年あるいは百年先の世に、時空を超えて必ず生きてくる。過去の記録がどれほど将来の役に立つのか、それは歴史学、考古学、古生物学、気象学、地震学、そして生態学に関わる私たちが常日頃から感じていることであり、自信をもって主張できることである。

第20回 「生物の多様性」は、なぜ必要か？ 1

「自然の恵み」と生物

私たちの日々の生活は、さまざまな「自然の恵み」のうえに成り立っている。空気や水、主食の米や小麦は言うに及ばず、野菜や果物、魚介類のない生活は考えられない。

作物によっては、ビニールハウスや室内で栽培ができるし、魚介類も養殖場で育てられるものもあるが、その源となる水や空気まで人が作りだしているわけではない。だから、中国の大都市のように大気が激しく汚染されたり、福島原発事故による放射性物質によって海や地下水が汚染されると、たちまち日々の生活が損なわれる。最近のニュースでは、政治や経済の情報よりも、さまざまな種類の「自然の恵みの劣化」の話題の方がインパクトが大きいように思う。

空気や水はともかく、作物や魚介類は生物である。だから、生物の多様性は「自然の恵み」をもたらす源泉であり、生物多様性を保全することは重要である、というロジックはよく目にする。この説明は、一見もっともらしく映るが、やや話を単純化しすぎている。厳しい見方をすれば、論をすり替えているともいえる。

作物にしる、魚介類にしる、私たちが食べているのは自然界のごく一部の生物種に過ぎない。だから、それ以外の大多数の生物は、いてもいなくても構わないという暴論を抑えることは難しい。一見、役に立ちそうもない生き物の多様性が実は重要である、という証拠がほしいところである。

下草の多様性が守る森の土壌

私たちが住む生態系が、多くの生物で支えられていることは直観でもある程度納得できる。有機物を生産する植物、それを食べる動物、落ち葉などを分解する微生物や土壌動物などが生態系の循環の立役者であるのは明らかであろう。だが、例えば植物は本当にたくさんの種が必要なのだろうか？

スギやヒノキの人工林は、基本的に単一の樹種からなっているが、少なくとも見た目は林として立派に成立しているし、木材も提供してくれる。水を貯えたり、土砂の流出を防ぐ役割も果たしているだろう。だが、生態系の持続性にとって本当にスギやヒノキだけで問題ないのだろうか？

ハイキングなど山歩きが好きな人は見覚えがあると思うが、手入れがされていないスギやヒノキの人工林は、林内が暗く、下層植生（いわゆる下草、厳密には草本と背の低い木本からなる）はほとんど生えていない。日本の山間部のように地形が急峻な地域では、下層植生がないと、大雨により土壌が流され、それが嵩じると土砂災害の原因にもなる。いわゆる山が荒れているという状態である。だが、適度にスギやヒノキを間引いてやると、林内が明るくなり、下層植生が豊かに繁茂するようになる。

下層植生は、土壌の侵食を防ぐうえで2重の役割を果たしている。まず、地上15～20mもある林冠部から落下する雨粒が、直接地面を叩きつけるのを防ぐ被覆効果がある。力学的に表現すると、林冠から落下する雨滴の大きな運動エネルギーは、地表面に近い下層植生により、いったん吸収されるので、雨滴が次に下層植生から地面に落ちる時の運動エネルギーは微々たるものになる。

さらに下層植生は、その茎や幹により、地面を覆う落ち葉が流亡するのを防ぐ捕捉の効果がある。

落ち葉など、全く無駄のように思えるかもしれないが、雨滴から地面を保護する膜のような役割を果たしている。下層植生はそれが雨で流されるのを防いでいるのである。

シカの増加にも対応できる森林の生態系

スギやヒノキだけでなく、下層植生が生態系の維持に必要なことはわかった。だが、下層の植物の多様性は本当に必要なのだろうか？ この問いに対する答えの一つを紹介しよう。

第15回で紹介したように、千葉県房総半島では1980年頃からシカが急速に増加し、分布が徐々に広がっている。私たちは、シカによって森林の下層植物がどのような影響を受けているかを調べたことがある。

シカがいない場所では、都会の庭先や公園でもおなじみのアオキなどが優占しているが、シカ密度の増加とともに、徐々に別の種に置き換わり、シカが高密度でいる地域では、シカが嫌いな植物だけが占めるようになった。アオキは、シカがいない状態では独り勝ちに近い状態になるが、シカに食べられて減少すると、徐々に競争に弱い種が侵入できるようになり、最後はシカに食べられない植物が結果的に独占するのである。

もし、森林の下層にアオキのようなシカの好物の種しかいなかった場合、森林の下層はたちまち裸地と化すだろう。そうなれば、大雨により土壌が流され、生態系の働きに大きな支障がでるにちがいない。森林の生態系には多様な植物がいることで、シカの増加という「予期せぬ事態」にも対応できる能力がもともと備わっているのである。

<図 コバノカナワラビ コバノカナワラビ> ワラビという名がついているが、ゴワゴワした固い葉で、とても食べられたものではない。撮影：鈴木牧

<図 イズセンリョウ>これといった特徴のない植物だが、有毒らしくシカは食べない。撮影：鈴木牧

送粉の多様性と作物

森の働きが劣化すれば、土砂崩れなどを通して、下流域の人々に少なからずの影響がでることが想像される。だが、作物のようなもっと身近な話題の方が、より説得力があるかもしれない。

スイカ、カボチャ、トマト、ソバ、リンゴなどの野菜や果物は、花を咲かせ、花粉が雌蕊（めしべ）に付いて受精することで初めて、私たちが食べる作物として成長する。その花粉を運ぶ担い手は、ミツバチやマルハナバチなどのハナバチ（英語で bee）とよばれる仲間である。ちなみに、日本語でハチといえばアシナガバチやスズメバチなどの肉食者も含むが、英語ではこれらを wasp とよんで bee と明確に

区別している。

農作物の受粉には、セイヨウミツバチが使われることが多い。セイヨウミツバチは作物の送粉用や蜂蜜の採取用に品種改良された、いわば家畜のようなものである。養蜂家によって大量に飼育されていて、箱ごと巣を購入することができる。繁殖力が高いうえ、花粉や蜜を効率よく運ぶので、農家にとってとても重宝な家畜である。だが、効率を追い求めて特定のハチだけに頼ると思わぬ落とし穴にはまることもある。

2000年頃から、世界各地でセイヨウミツバチの急減が盛んに報じられるようになった。日本でも巣箱から突然ミツバチがいなくなる「失踪」ともよばれる現象が起きている。まだ原因は特定されていないが、ネオニコチノイド系の農薬による悪影響、ダニや病原菌の蔓延などが可能性として挙げられている。理由はともかく、結果としては、人間社会にも広くみられる「効率主義の落とし穴」そのものである。

< 図 セイヨウミツバチの巣箱 > 養蜂家が草原に並べた巣箱に、セイヨウミツバチが集まってくる。
(らんぱち / PIXTA)

野生のハナバチ、その「種数の効果」

いっぽう、海外で行われた研究によると、野生のハナバチの種類が多い地域ほど、スイカやカボチャ、コーヒーの結実数が増えることが報告されている。驚いたことに、これは種数が増えた結果として個体数が増えるという「数の効果」では説明できず、純粋な「種数の効果」であるという。その仕組みは完全にはわかっていないが、ハナバチは種によって、活動時間帯や、訪れる花の地上高に違いがあり、それがトータルとして送粉の効率を高めているということらしい。

しかし、野生のハナバチの個体数は年変動する。これはセイヨウミツバチのように、毎年一定の量を確保できる家畜に比べると大きな欠点である。しかし、野生のハナバチは1種類しかいないわけではない。種数が多ければ、「去年はA種が多かったが今年はB種が多い」といった年変動のズレにより、個々の種の多い・少ないは平均化され、ハナバチの群集（種のまとまり）でみた場合の送粉効率は安定的に維持される可能性がある。これはまだ証明されていないようだが、自然界では十分にありそうな話である。

< 図 ニッポンヒゲナガハナバチ > 花の上で身づくろいをする。 撮影：COCO

第21回 「生物の多様性」は、なぜ必要か？ 2

害虫に農薬は人体にとって安全安心か

ハナバチと違って、害虫は作物に文字通り害をなす生物である。今では想像もつかないが、農業技術が未発達だった明治時代より前は、さまざまな害虫の大発生により、しばしば飢饉が起こっていたらしい。

庭で発生した害虫にあわてて農薬を撒いたことは、誰しも1度や2度は経験しているだろうが、作物の害虫防除には計画的に農薬が撒かれている。農薬は、その毒性が人体に影響を与えないものが国の基準で認可されているので、使用法さえ守れば行政的には安全と言える。だが、絶対的に何の問題もないかといえば、その保証はない。だから、私たちはよく「安全安心」という言葉を使う。安全と安心の意味は似ているが少し違う。一定の基準での安全が、安心をもたらすとは限らないからである。国が作った放射能の安全基準が、多くの人を安心させるわけではないのと理屈は同じである。

農地における「ただの虫」の役割

農薬を使わない有機農法は、もともと食の安心安全を求めたものであるが、いまでは農業生態系での生物多様性保全のための実践ツールともなっている。有機農法では、害虫は増えるだろうが、その天敵や、それ以外の雑多な昆虫も増えるに違いない。最近の研究によれば、天敵の多様性が害虫の個体数の抑制に効いているという事例もある。そして、さらに面白いのは、天敵が害虫を食べて数を減らす効果は、意外にも「ただの虫」ともよばれる雑多な昆虫が一役買っているという点である。

この意外とも思える仕組みをまず説明しよう。害虫といえども、年中数が多いわけではない。稲の場合、田植え後一か月くらい後に害虫の数が增多することが多いようだ。ヨーロッパの小麦についても同様らしい。この場合、天敵であるクモやカメムシの数が、害虫の数を後追いしたのでは、とても害虫を制御することはできない。

< 図 キバラコモリグモ 田んぼでよくみられるキバラコモリグモ > 地上を徘徊し、網を張ることはない。 撮影：谷川明男

水田のコスリカ、畑のトビムシ

火事では、よく初期消火が重要といわれる。一度火事が大きく広がってからでは手がつけられないからだ。もちろん、病気の治療についても同じである。天敵がもし害虫だけを食べているなら、害虫の発生していない時期は天敵も存在できないので、「初期消火」はそもそも不可能であろう。だが、水田や畑には、害虫以外の昆虫もたくさん棲んでいる。水田の場合はコスリカ、畑の場合はトビムシとよばれる小型の昆虫が優占している。これらの虫は基本的に分解者で、泥や落ち葉などが破碎された有機物や微生物を食べて成長する。だから、害虫でもないし、その天敵でもない、地味な「ただの虫」である。

だが、ただの虫は春先から活動しているので、クモなどの天敵にとっては恰好の餌である。面白い

ことに、ユスリカなどのただの虫は、害虫が増える夏場になると数が減る。だから、天敵は主な餌を、ただの虫から害虫へ切り替えることになるだろう。この仕組みがうまく働けば、害虫が大発生する前に天敵が害虫の数を抑制することができるに違いない。

<図 ユスリカ的一种> 水田にたくさん見られるユスリカ的一种。ありふれた虫、ユスリカは害虫でも、その天敵でもない「ただの虫」の代表格。 撮影：筒井 優

<図 クモの網にかかった大量のユスリカ> ナカムラオニグモの網にかかった大量のユスリカ
これだけ多くいると、クモはとても食べきれない。 撮影：筒井 優

消費者の賢さが求められる時代

もちろん、こうした天敵とただの虫の働きで、常に害虫が制御されているのであれば、害虫問題はそもそも存在しないはずだし、農薬もいらぬはずだ。

実際は、害虫の増殖力の高さからして、天敵にそこまでの効果を期待するのは酷である。だが、農薬を必要以上に撒いて、害虫ばかりか天敵やただの虫までも抹殺することは、強い抗がん剤を投与しすぎて、生体に備わっている免疫機能までも損なってしまうことと同じで、長期的には逆効果かもしれない。

さらに、食の安全の面からすれば、過剰な農薬使用は明らかにマイナスである。戦後の高度経済成長の時代は、こうしたリスクをほとんど考えない時代であった。現在の生物多様性を見直す機運は、こうした過去の反省も生かされている。農薬によるリスクを回避し、しかも豊かな生き物が住める農地を維持するには、作物の見てくれの悪さ、つまり品質に惑わされない消費者の賢さも必要だろう。

サンゴ礁の眠れる番人

サンゴ礁は、熱帯から亜熱帯の沿岸の代表的な生態系であり、多種多様な生き物の宝庫である。第10回でも紹介したように、サンゴ礁にはブダイなどの大型の草食性の魚がいて、サンゴの表面につく藻類を食べて暮らしている。乱獲などでブダイが減ると、藻類がサンゴの表面を覆いつくしてサンゴ礁は衰退し、藻類が優占する不毛な生態系へと変質する。いったんこの状態になると、もはやブダイは藻類を減らすのに役立たない。初期消火を怠ると、少しくらい水をかけても鎮火しないのと同じである。

だが最近、この状態であたかも目覚めたように活躍する魚がいることがわかった。アカククリという熱帯魚である。この魚は、普段はホヤやエビなどの動物をおもに食べていて、密度もそれほど高くないのだが、ホンダワラなどの藻類が大繁殖すると、その場所に集まってきて、それを盛んに食べるようになる。

オーストラリアのグレートバリアリーフでの実験によると、サンゴ礁でブダイなどを3年間排除した区画では、一面ホンダワラが生い茂るようになったが、囲いを排除すると、わずか数日でほとんどホンダワラが消失したという。その主役をつとめたのはブダイではなく、アカククリであった。私は魚の専門家ではないので実感がわからないのだが、これは驚くべき発見だったらしい。それまでは肉食ないしは雑食と考えられていた種が、藻類を貪食し始め、サンゴ礁の復元に貢献していたからである。

この実験を行った研究者は、アカククリのことを sleeping functional group (眠れる機能群) と名付けた。普段は役に立たないが、生態系が危機に直面する段になって初めて起き上がり、活躍するという意味である。

< 図 アカククリ サンゴの陰にいたアカククリ > 慶良間の佐久原魚礁にて。写真提供：福井 淳

「昼行灯」言われた人のように

私はこの論文を読んだときに、とっさに赤穂浪士の仇討の指揮を執った大石内蔵助を思い起こした。大石は、主人の浅野内匠頭による刃傷事件が起こるまでは、「昼行灯(ひるあんどん)」とよばれていた。昼間に灯がともっている行灯のように、薄ぼんやりした「役立たず」だったのであろう。ところが、ひとたび事が起こると、見事なまでの統率力と人心掌握術で、当時不可能とさえ思えた吉良上野介への仇討を、一人の死者もなく成し遂げたのである。

アカククリのような眠れる機能群が、他の生態系でどれほどいるのか、まだほとんどわかっていない。だが、普段はいてもいなくてもいいような生物が、条件次第で主役になってしまうという痛快な話は、結構あるのではないかと思う。私たちは、まだ自然のことを少ししか理解できていないのだから。

第22回 生態系の多様性 = 場の多様性

生態系は、生物を育む「場」となっている。だから、「生物多様性」の階層の一つとして、遺伝子や種とならんで生態系がとりあげられ、それぞれの多様性の保全が重要視されている。遺伝子は生命現象の根幹をなす物質であり、新たな種を生み出す源であるから、その多様性の維持が重要であることは想像に難くない。だが、「生態系の多様性」はすこし漠然としている。

自然界にはさまざまな生態系があり、それら個々が重要であることは今さら強調するまでもない。それもあってか、ほとんどの教科書や解説書でも、種や遺伝子の多様性に比べ、生態系の多様性についての記述はあまり歯切れがよくない。異なる生態系には、別の生物が暮らしている、という自明の理を超えた説明がほしい。

多くの種が複数の生態系を生きる

日本の里山は、私たちが遠い祖先から受け継ぎ、長年にわたって維持・管理されてきた自然である。雑木林、水田、草原、河川などのいくつもの生態系から構成されているのは周知のとおりである。

里山はよく生物の多様性が高いと言われているが、その理由は二つ挙げられる。一つは、個々の生態系には別の生物種があるので、トータルとして種数が多くなるという、いわば自明の効果である。もう一つは、複数の生態系がないと暮らしていけない生物が数多く棲みついているからである。

トンボやカエルは、幼虫や幼生の時期にそれぞれヤゴ、オタマジャクシという愛称でよばれ、田んぼや池で暮らしているが、成虫や成体になると、水辺を離れた森林や草地で暮らす種が多い。アカガエルは、オタマジャクシからカエルに変態して上陸した後、近くの雑木林で何年か過ごし、成熟すると水田に産卵に戻ってくる。

トキは、カエルやドジョウを食べるために水田を使うが、時期によっては昆虫やミミズを食べるために草地を利用する。タカの一種のサシバも、春には水田で盛んにカエルを食べるが、夏になってカエルが減ると雑木林で大型の蛾の幼虫や甲虫を食べようになる。

これらの生物は、水田が広大に広がった地域や、その逆に森林ばかりが広がった地域では生活することはできない。里山には、生態系の「単品」ではなく、何種類かの「セット」が揃っているので、複数の生態系が、不可欠な生物が数多く棲めるのである。

< 図 大きなカエルを捕まえたサシバ > 千葉県佐倉市畔田の谷津田で、2013 年 6 月。撮影：maruyama

「場の多様性」がもたらす恩恵

生態系のセットは、農作物の生産にも役立っている。日本人が好んで食べるソバは、米や麦など他の穀類とは違い、種子が実るにはハチによる受粉が必須である（ちなみに、イネや麦の花粉は風で運ばれる）。茨城県北部で行われた調査によれば、周辺が森や草地に囲まれたソバ畑では、花に訪れる昆虫類の数が多く、ソバの実りもよいらしい。

花に訪れる昆虫は、もともとソバ畑に棲んでいるわけではなく、付近の森林や草地を生活の場に行っているからである。もし欲張って広大なソバ畑を作ったとしても、花粉を運ぶ昆虫が減ってしまうので、ソバの収量は期待ほど上がらないに違いない。昔から日本人が営んできた農業は、「場の多様性」がもつ潜在力を上手に引き出してきたと言えよう。

< 図 里山のソバ畑(茨城県常陸太田市)> 森の近くにあるソバ畑では、ソバの実の結実率が高い。
撮影：滝 久智

場の多様性は、害虫の被害を減らす役割もある。ドイツ北部のアブラナ畑での調査によると、草地や森林に囲まれた畑ほど、害虫によるアブラナ種子の食害が少ないことがわかった。害虫の天敵である寄生蜂が、草地や森林の近くで多いからである。

もし欲張って広大なアブラナ畑を作ると、害虫の被害は激増するかもしれない。その対策で、害虫を撃退するための農薬をたくさん撒くことになるだろうが、コストがかかるうえ、環境への悪影響も懸念される。やはり、「場の多様性」がもつ恩恵をうまく引きだすほうが賢明な選択だろう。

場の多様性が場の永続性を保証する

一口に森林といっても様々なタイプがある。広葉樹林や針葉樹林といった区分はもとより、同じタイプの針葉樹林でも、樹高が人の背丈ほどの若い林もあれば、百年以上を経過した老齢林もある。こうした生態系のなかの異質性も、場の多様性に含めてよい。

山でよく目にするスギやヒノキの造林地は、ほとんどが同時期に植えた木の集合体、すなわち一斉林である。遠目からは美しいかもしれないし、人間が管理するうえでは効率的かもしれない。だが、記録的な大雨が降ると、運命共同体のように一斉に土砂崩れが起こることがある。一斉林では、どの木も根の深さが同じなので、表面が一気にめくるように崩れ去るのだ。

北アメリカで森林火災が大規模化する原因も、同じような仕組みが関与している。山火事は日本のような湿潤な気候下では大した問題にならないが、世界的には洪水や台風とならぶ自然の脅威である。山火事が繰り返し起こる地域では、林の年齢の異なったモザイク状の森林が、数千年以上の長い歴史をとおして維持されてきた。このモザイク性は、時々起る小規模な山火事が創りだした、「場の多様性」である。

< 図 合衆国のロッジポールマツの林 > 林齢が異なる林がモザイク状に広がっている。White & Harrod (1997)を改変

自然を封じ込めれば反動も

山火事は、老齢林で広がることが多い。老齢林の下層には、大量の落葉や枯れ枝、倒木があり、それが火災に燃料を提供するからである。いっぽう若い林では、そうした燃料の蓄積が少ないので、火災の蔓延を食い止める働きをしている。もちろん、燃えた老齢林は、すみやかに若い林へと生まれ変わる。

山火事は場の多様性を創り、場の多様性は山火事の蔓延を防ぐという、双方向の関係が長年にわたって築かれてきたのである。

ところが合衆国では 19 世紀後半から、山火事が起きたら直ちに消火するという徹底的な管理が行なわれてきた。そのため 20 世紀後半には、針葉樹の老齢林が広範囲に広がり、皮肉にも大規模な山火事が起こる下地ができあがってしまった。案の定、1988 年にイエローストーン国立公園で大規模な山火事が起きた。森林の「場の多様性」を人間が封じ込めたことによる反動とみられている。

人間が作った「場の多様性」は脆い

では、場の多様性はつねに肯定されるべきかということ、そうでもない。例えば、人間が平野部の雑木林をどんどん伐採して、その周囲に宅地や工場、空き地、公園を作った場合を考えよう。都市近郊ではよく目にする光景である。これは、確かに場の多様性は高いと言えるかもしれないが、生物に満ち溢れた世界とは言い難いし、自然の恵みをもたらしてくれるとも思えない。

世界中どこにでも見られる外来植物、捨てられた猫、ごみを食べて増えたハシブトガラスなどが幅を利かせる世界である。元の生態系を壊して、人間が無計画に創りだした「場の多様性」は、無意味であり有害でさえある。気の遠くなるような長い年月をかけて形成された自然の場の多様性を、うまく利用した「里山の景観」とは似て非なるものである。

種の多様性にしろ、場の多様性にしろ、歴史性のないものは、おおむね不安定であり、外圧によって崩れやすいシステムといえる。なにしろ、歴史がもつ膨大な時間は、さまざまな思考錯誤の積み重ねを通じて、今日見られる永続性のある多様性を創りだしてきたのだから。