

# 季刊生命誌 118

BIOHISTORY 2024 秋



季刊生命誌 118  
BIOHISTORY 2024 秋



キリシマギンリョウソウ。植物だが光合成をせず、菌類に寄生する「菌従属栄養植物」。ギンリョウソウ属は世界に1種とされてきたが、DNA解析等から本種は新種と判明した。

【Perspective より】

撮影：末次健司(神戸大学)

今号テーマ

## あなたがいて「わたし」がいる

陸上の生きものの歴史を振り返ると、およそ5億年前に植物が、次いで動物が上陸しましたが、その間に植物が陸上で暮らすための土を育む、細菌や菌類などの微生物の活動も始まっていたでしょう。その新たな環境が、昆虫などの動物の行動を促し豊かな陸上生態系が生まれました。生きものの関わりは、お互いを利用しながら、共に生きのび共存することで広がっていったのです。

パースペクティブでは、植物の生き方を他の生きものとの関わりを含めて観察し、新種発見にもつなげる末次健司先生が、日の当たらない環境に暮らす小さな花々にみる植物の知恵を語ります。スペシャルストーリーは、アドベンチャーワールドの山之内克紀さん、草食動物の大きな体を植物が支える反芻胃の秘密と飼育の工夫をお聞きします。食草園にやってくるチョウの紙工作は「ウラギンシジミ」。幼虫の時代も越冬時期も、植物をパートナーに身を隠す技が光ります。

もくじ



### PERSPECTIVE

#### 植物から生きものの関わり合いを探る

末次健司 神戸大学

### SPECIAL STORY

#### 草食動物の時間

山之内 克紀 アドベンチャーワールド

### BRH WORKS

#### とび出す食草園のチョウ



# あなたがいて「わたし」がいる

生きものは互いに関わり合って生きています。

植物は光合成で自ら養分をつくることができるため、動物や菌類など、多くの生きものに利用される存在ですが、植物も動物を利用して花粉や種子を運ばせます。土からミネラルを吸収する際には、根に共生した菌類の力を借りますし、落葉や枯れ木を分解して、植物がミネラルを再利用できるようにするのも菌類です。

植物を利用する生きものが集まると、そこではさらに複雑な関係が生まれます。今回は、植物なのに光合成をやめて菌類に寄生し、独自の生き方をするようになった植物について取材しました。また関わり合いの中で独自の生き方を編み出したさまざまな生きものについて、過去の季刊「生命誌」の記事から紹介します。



# 植物から生きものの関わり合いを探る

末次健司

神戸大学

**CHAPTER**

- |                |                |
|----------------|----------------|
| 1. 植物と関係を結ぶ生物  | 2. 花の色や形のもつ意味  |
| 3. 地中で繋がる植物と菌類 | 4. 菌従属栄養植物の繁殖  |
| 5. 菌従属栄養植物の種子  | 6. 様々な生物の関係を探る |

## 1. 植物と関係を結ぶ生物

生きものは、種を超えて他の生きものと関わりをもつことで生きています。自然界には、互いに助け合っているように見える関係もあれば、だまし合いのように見える関係、そして3種以上の生物が絡み合う複雑な関係も見られます。生きもの同士の独自の関わり合いは、どのように築かれてきたのでしょうか。

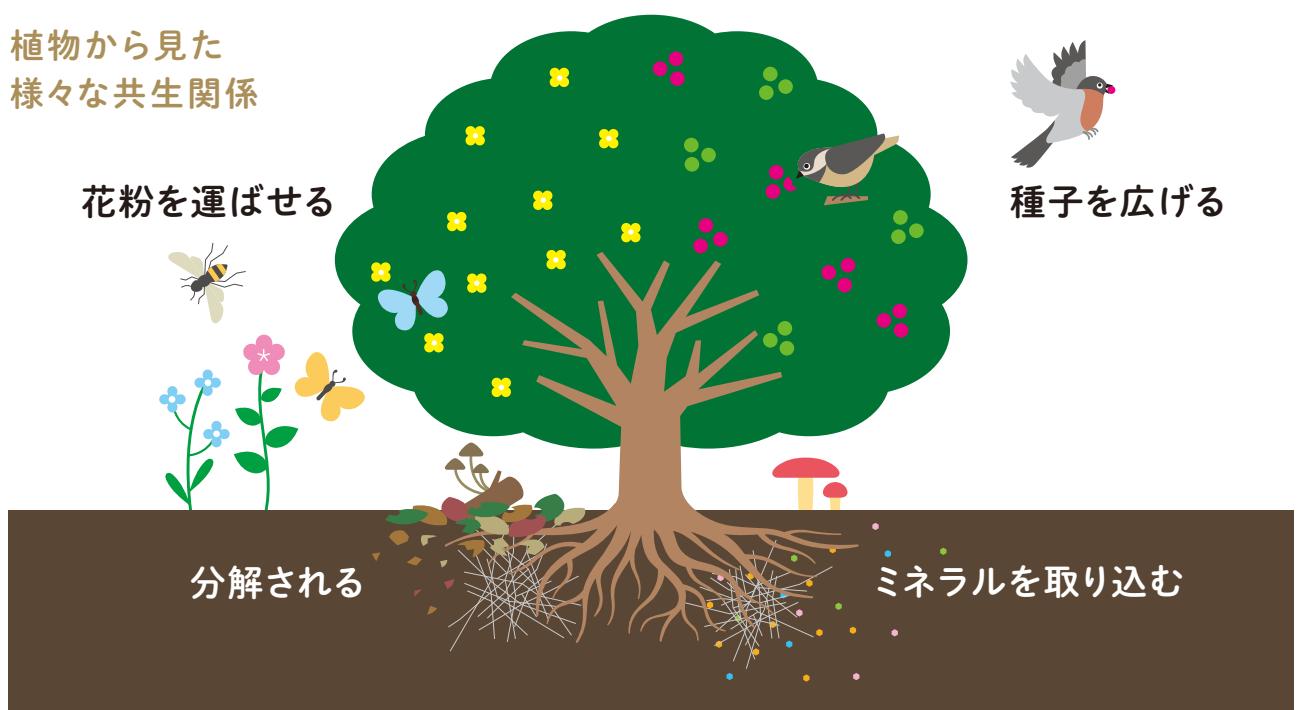
食う・食われるの関係は、生物の最も基本的な関わり合いです。人間を含む動物は、他の生物を食べなくては生きていけません。では植物はどうでしょう。植物は光合成によって自ら養分を作り出すことができます。このような生物を「独立栄養生物」と呼びます。これに対し、他の生きものを取り込んで養分とする生物は「従属栄養生物」と呼び、昆虫・哺乳類・鳥類などの動物、カビ・きのこなどの菌類が該当します。植物は動物の食物になったり、菌類に侵されて養分を奪われたりと、多くの場面で利用される一方、自らは他の生物を必要としないように見えます。しかし植物は一方的に利用されるだけではありません。集まつてくる様々な生きものを、植物側も利用することで続いてきたのです。

陸上植物の種の90%以上を占める種子植物は、花をつけることが特徴ですが、多くの場合、昆虫を中心とする動物に花粉を託しています。また、栄養のある果実を実らせて鳥や哺乳類に食べさせ、その糞と共に種子を広げる植物も数多くあります。動物の移動能力を利用して繁殖と分布拡大を行うのです。

地下では菌類との関係があります。ほぼ全ての植物の根には「菌根菌」という菌類が入り込んでおり、植物は光合成の養分を菌根菌に与える一方で、リンや窒素などの無機栄養素(ミネラル)を菌から得ています。また土の中には、落ち葉や枯れ木を分解する「腐朽菌」という菌類が存在します。腐朽菌は分解を通して、落ち葉に含まれるミネラルを、根が吸収しやすい形に戻します。植物は菌類を利用して、限られた資源を循環させているのです。

動物や菌類との関わり方によって、植物の生活史は形づくられます。大きな生態系の中で、一つひとつ の植物が他の生物とどのように関わっているのかは、まだまだわかっていないことが多いのです。

### 植物から見た 様々な共生関係

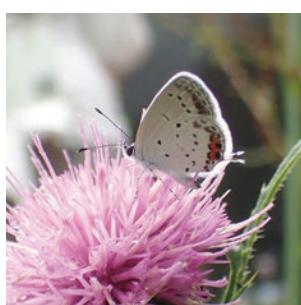


(図1) 植物からみた様々な共生関係

地中の白い線は、菌類の菌糸を示す。

## 2. 花の色や形のもつ意味

陸上植物の花は、繁殖に特化した器官です。花粉を移動させる手段は風や水流など、様々に進化しましたが、最も多くの種がとっているのは、昆虫を中心とした動物に花粉を運ばせることです。動物が花粉を運ぶ花は、色や形、香りのバリエーションが飛び抜けて多様です。また身近な花を観察するだけでも、チョウ、ハチ、アブ、ハナムグリ、さらにハエやアリなどの小さなものまで、様々な昆虫が訪れることがわかります。



(図2) 様々な花と訪花昆虫

左から、アザミとツバメシジミ、ミカンとセイヨウミツバチ、  
セイヨウアブラナとホソヒラタアブ、アシタバとコアオハナムグリ

JT生命誌研究館 ♀食草園Instagramより



受粉の確率を上げるためにには、花粉が雌しべに到達することはもちろん、他種の花粉など、受粉を妨げるものが雌しべにつかないことも重要です。つまり植物が動物に花粉を託す場合に理想的なのは、同じ種類の花だけを訪れてくれる送粉者だといえます。一方、動物が花に近づくのは、あくまで蜜や花粉などを利用するためであり、動物が植物の種類を区別する必要はないのです。そこで植物は、花の性質を互いに差別化し、それぞれが特定の送粉者との関係を強化していく道を選びました。動物に花粉を託す植物の花が、飛び抜けて多様である理由はここにあるのでしょうか。

実際に、花の色や香りから、その送粉者をある程度予想できる場合もあります。昼間に開く花の色は、特にハチ類・チョウ類の好みを反映して進化したと考えられています。花蜜を主食とするハナバチやチョウは、集中的に花を訪れてくれる優秀な送粉者です。さらに彼らは花を探索しやすいよう、色覚や学習能力を進化させていますから、蜜のある花の色や場所を学習し、繰り返し来てくれるメリットもあります。また夜でも目立つ白色や、強い香りをもつ花の多くは、夜行性のガが主な送粉者です。

確実に花粉の受け渡しをするためには、昆虫が花の上に安定して止まれることも重要です。例えばランの花は、目立つ花弁の他に「唇弁(リップ)」と呼ばれる構造をもっており、これは、花の中心部にハチやアブなどの昆虫が近づく際の足場になります。サギソウというランには、少し変わった工夫があることがわかりました。サギソウの花は、翼を広げたシラサギの舞う姿に似ているからこの名があり、夜にスズメガが訪れます。花を取り囲むギザギザした突起は、一見するとスズメガに向かう視覚的な目印のように見えますが、実はギザギザを切り取ってもスズメガの訪問頻度は変わらないのです。にも関わらず、ギザギザの部分を切り取ると実る種子の量が減ってしまうことから、この突起は目印ではなく、スズメガが花を訪れる際の足場だとみられます(図3)。昆虫との関わりをよく観察してみると、花の特徴の細部にまで、植物の工夫が隠されていることがあるのです。

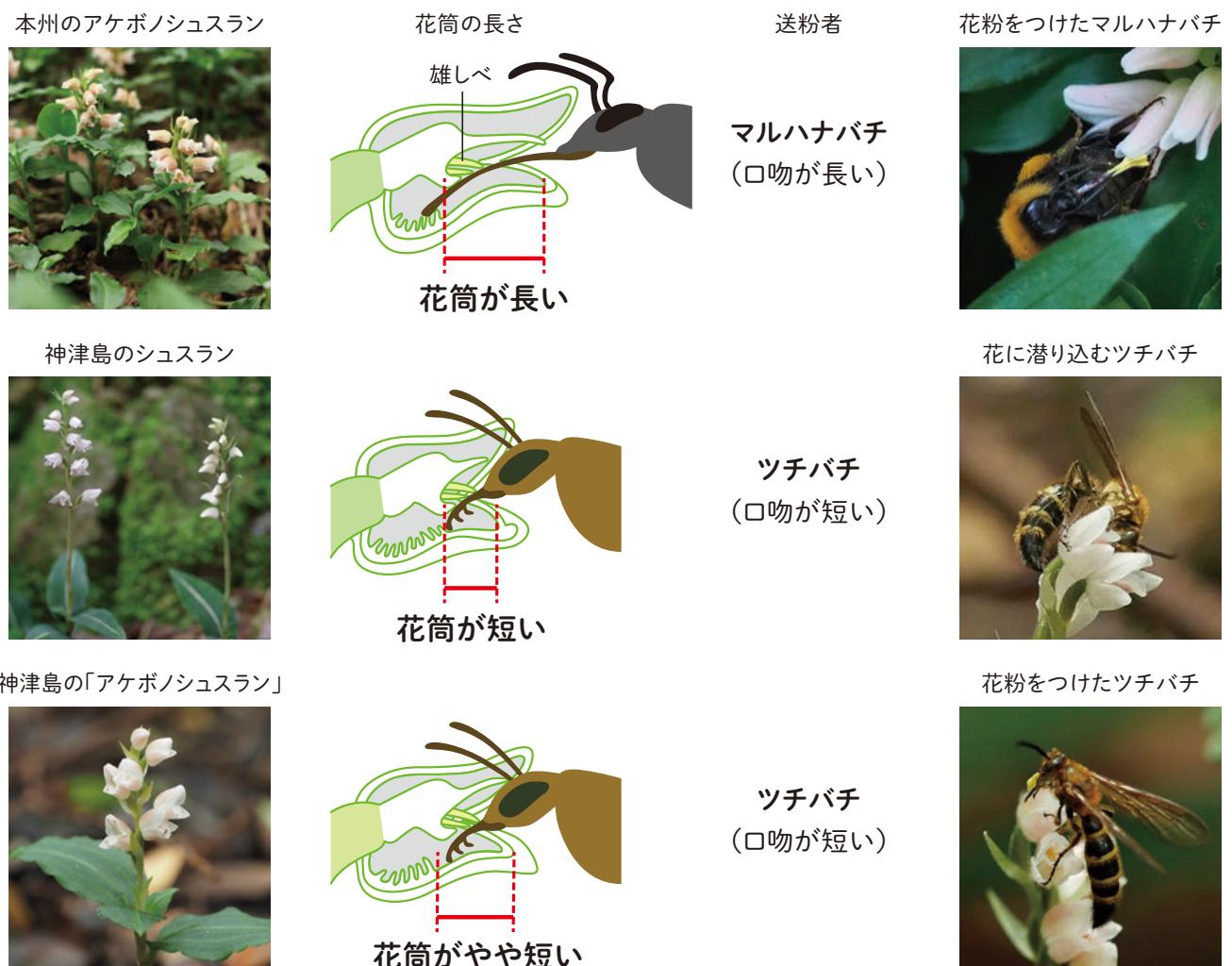


ギザギザ部分を  
足場とすることで  
スズメガが安定して  
花にとまる

(図3) サギソウの形とスズメガの関係

花粉が運び出される際は、花粉が昆虫の体にしっかりと付着すること、花粉が他の花に運びこまれたら、最終的に雌しべの柱頭につくことが必要です。これらをクリアするには、雄しべ・雌しべの長さや配置が、花にやってくる昆虫の体型に合っていることなどが重要になってきます。

マルハナバチを主な送粉者とする、アケボノシュスランというランがあります。この種は、送粉者であるマルハナバチのいない神津島にも分布を広げています。この島の「アケボノシュスラン」はツチバチに送粉してもらっており、花筒がツチバチの口吻の長さに合わせて短くなっていることがわかりました(図4)。DNAを分析すると、驚いたことに、この島のアケボノシュスランは全て、近縁種であるシュスランとの雑種だったのです。シュスランはツチバチを主な送粉者とし、初めからツチバチに適した短い花筒をもっています。アケボノシュスランは短い花筒という他種の形質を取り入れ、本来の送粉者がいない神津島で生き延びたようです。この研究は、たった数ミリという花筒の長さのわずかな違いが、受粉の成功に大きく影響することを示しています。



(図4) 本州と神津島のシュスラン・アケボノシュスランとその送粉者

神津島に渡ったアケボノシュスランは、シュスランと交雑することで、花筒が短いというシュスランの形質を取り入れた。これによって、マルハナバチのいない神津島で、ツチバチに送受粉を託すようになったようだ。

撮影：設楽拓人(神津島のシュスラン、神津島の「アケボノシュスラン」、マルハナバチ、ツチバチ) 北田義明(本州のアケボノシュスラン)

昆虫がもつ色や香りの好み、花への止まりやすさ、形態など、様々な要素が植物との関係をつくるものになります。しかし、花と昆虫の性質がぴったり重なる例はむしろ少数であり、両者の関係のほとんどは、部分的にしか理解されていないと言ってよいでしょう。そもそも、被子植物の10%を占めるラン科のグループを見ても、よく知られたごく一部の種を除き、どのような昆虫が訪れているのかさえわかつていません。身近な植物であっても、花の性質や昆虫との関係をじっくり観察すれば、新しい発見の可能性があるということです。

### 3. 地中で繋がる植物と菌類

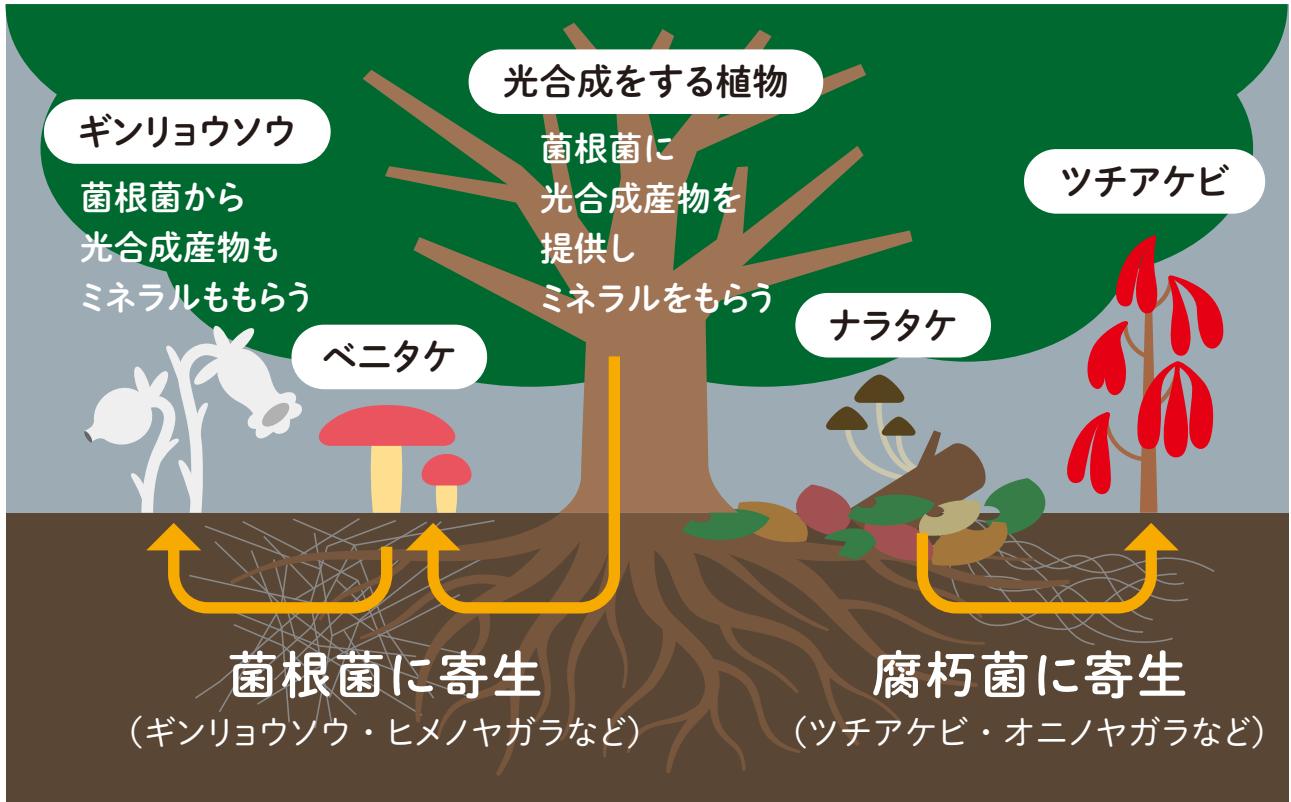
植物は陸で暮らし始めたごく初期から、菌類と互いに利用し合ってきました。その菌は「アーバスキュラー菌根菌」と呼ばれ、陸上植物の80%の根に入りこんでいます。アーバスキュラー菌根菌は光合成産物である養分を植物からもらう一方で、無機栄養素を植物に供給する形で共生しています。その共生の特徴は、菌類が相手の植物種を選ばず、複数の個体と同時に関係を結ぶことです。この関係が、陸上植物の繁栄を支えたと言われており、植物は種をこえて菌糸のネットワークでつながり養分を融通しあっているという説もあります。

土の中には、落ち葉や枯れ木を分解利用する腐朽菌と呼ばれる菌も無数に存在します。この腐朽菌のグループから、生きた植物の根に共生するよう進化した菌類もいます。これはアーバスキュラー菌根菌と区別して「外生菌根菌」と呼ばれ、関係を結ぶ植物は少数派ですが、どんぐりの樹の仲間（ブナ科）やマツなどは、外生菌根菌の力をを利用して森の優占種となっています。

植物の中には、通常は菌類側から植物側へ移動する炭素の流れを逆転させて、ついには自身が光合成をやめてしまったものがいます。このような植物は菌類に養分を依存していることから「菌従属栄養植物」と呼ばれ、ツツジ科のギンリョウソウや、ラン科のツチアケビがよく知られています。

菌従属栄養植物はツツジ科やラン科の系統で独立に進化しており、祖先は普通の植物だったと考えられます。まずは菌へ寄生する能力を獲得したのち、光合成能力を失ったようです。植物の側に、葉緑体を失って光合成できなくなるという突然変異が起こり、本来は生き残れなかつたものが、菌への寄生能力のお陰でたまたま生き残ったのではないかと考えられるのです。

これらの植物の生態は未知の点が非常に多く、地下でどの菌類に寄生しているのかを知ることも容易ではありません。そこで放射性同位体分析という手法で炭素の起源を調べてみると、菌従属栄養植物が菌から得ている糖やでんぶんは、ごく最近固定された炭素に由来する場合と、数十年前に固定された炭素に由来する場合があることがわかりました。おそらく前者は生きた植物と共生する菌根菌に寄生しており、後者は枯れ木などを分解する腐朽菌に寄生しているのでしょうか（図5）。これらの植物は、菌類のネットワークを通して他の植物からの光合成産物を得ていると考えることもできるのです。



(図5) 菌従属栄養植物と菌類の関係

矢印は光合成に由来する養分(糖やでんぶん)の流れを示す。菌従属栄養植物は菌根菌に寄生するタイプと腐朽菌に寄生するタイプがいることがわかった。どちらも菌類を介して他の植物の光合成産物を得ているという見方もできる。

菌従属栄養植物は菌から一方的に養分をもらうのみで、何も与えません。本来、菌類は共生相手となる植物種を選ばない一方、相手が養分を与えてくれるかどうかはちゃんと識別しており、そうでない植物からは離れていくことがわかっています。菌従属栄養植物は、この「制裁」とも言えるしくみをかいくぐり、菌類を「だます」のだと考えられます。

菌従属栄養植物が、菌類とお互いに利益をもたらしていた関係からどのような適応を経て光合成を止め、寄生者になったのか。この謎を解明できれば、生物同士がどんな時に助け合い、どんな時に敵対するのかについて理解を深められるはずです。

## 様々な菌従属栄養植物

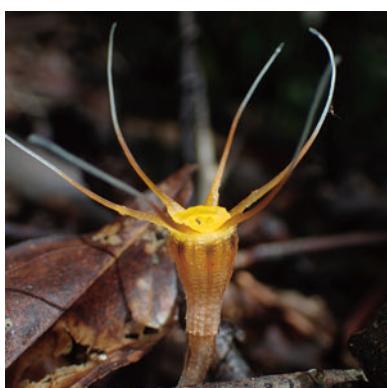
著者のグループが発見、記載したものを含めて上に示した。菌従属栄養植物は希少なため、多くの種の生活史は謎に包まれている。



(図6-1) ギンリョウソウとキリシマギンリョウソウ

ギンリョウソウ属の植物は世界に1種だけとされてきた。しかし鹿児島県霧島では赤い花弁のギンリョウソウ(右)が見られ、DNA解析や寄生相手の菌類の分析を行ったところ新種と判明。最初の発見地を冠した「キリシマギンリョウソウ」と名付けた。

タヌキノショクダイ属



ムジナノショクダイ属



(図6-2) タヌキノショクダイ属とムジナノショクダイ属

タヌキノショクダイの仲間は、その名の通り燭台のような形の花をつける。英語では「妖精のランプ」と呼ばれる。

コウベタヌキノショクダイ(中央)は、生息地の開発などにより絶滅したとされていたが、2021年に30年ぶりに兵庫県三田市で発見された。花の直径は1センチ未満。

ムジナノショクダイ(右)は、一見、タヌキノショクダイ属の種に似ているが、DNA解析や形態学的な特徴は大きく異なっており、新たな属として分類するのが適当であることがわかった。そこで、「タヌキノショクダイと似て非なる種」という意味を込め、「ムジナノショクダイ属ムジナノショクダイ」と名付けた。日本で発見され、新属・新種と認定された植物は90年ぶり。



(図6-3) ホシザキシャクジョウとヤクノヒナホシ

ホシザキシャクジョウの仲間は「幻の花」と呼ばれる。その理由は、ほとんどの種が一度しか見つかっていないこと、分布も日本とアフリカ中央でしか知られていないことにある。左の写真のホシザキシャクジョウの花は直径5ミリ程度。右の写真のヤクノヒナホシは2007年に屋久島で発見され、九州大学の矢原徹一教授によって命名された新種。花の直径は3ミリ程度。

## 4. 菌従属栄養植物の繁殖

菌従属栄養植物は、菌糸のネットワークが発達する森の中に生息します。他の植物が利用できないニッチに進出したと言えますが、その際に、花粉を運んでくれる昆虫や、種子を運ぶ動物との関係性も再構築しなくてはならなかったはずです。このような植物は光合成をやめただけではなし得ない複合的な進化の産物であり、これまでの植物では知られていなかった驚くべき生き方を示してくれます。

林床には、ほとんどの植物にとって有力な送粉者であるチョウやハチは、ほとんどやってきません。菌従属栄養植物の多くは背丈が小さく、落ち葉や枯れ木に埋もれるように咲いています。彼らはどのように受粉をするのでしょうか。

菌従属栄養植物の多くは、自家受粉によって子孫をのこす仕組みをもっていることがわかりました。おそらく明るい場所に比べて極端に昆虫が少ない環境であり、他家受粉ができなかった時の補償として、自家受粉が進化したのでしょうか。中でも極端な例として、咲かない花である閉鎖花しかつけない植物を2種類見つけました(図7)。その一つである「ヌカヅキヤツシロラン」の閉鎖花を開いてみると、おしべがめしひに向かって180度折れ曲がっており、確実に自家受粉をする形に進化したことが見て取れました。光合成を行う普通の植物において、閉鎖花しかつけない種は今のところ存在していません。



(図7) 閉鎖花だけで世代交代を行う菌従属栄養植物

左:タケシマヤツシロラン 右:ヌカヅキヤツシロラン

どちらも花のつぼみをつけているように見えるが、これらは「閉鎖花」であり開くことはない。閉鎖花の内部で自家受粉が行われる。

本来、植物にとって望ましい受粉は、遺伝子の組み合わせの多様性を生む他家受粉です。自家受粉は容易ではありますが遺伝的な多様性が生まれず、有害遺伝子の影響が顕在化しやすいなどのデメリットがあります。短期的に、自家受粉によるメリットがデメリットを上回る場合、閉鎖花が進化するのでしょうか、この戦略がどれくらい永続的かは別問題です。ダーウィンは自家受粉のみで種を維持することは不可能とさえ言っています。恐らくヤツシロランのような植物は、進化の袋小路に入り込んでしまった存在であり、今はまだ見ることができても、数百万年単位のスケールでは絶滅の運命にあるかもしれません。

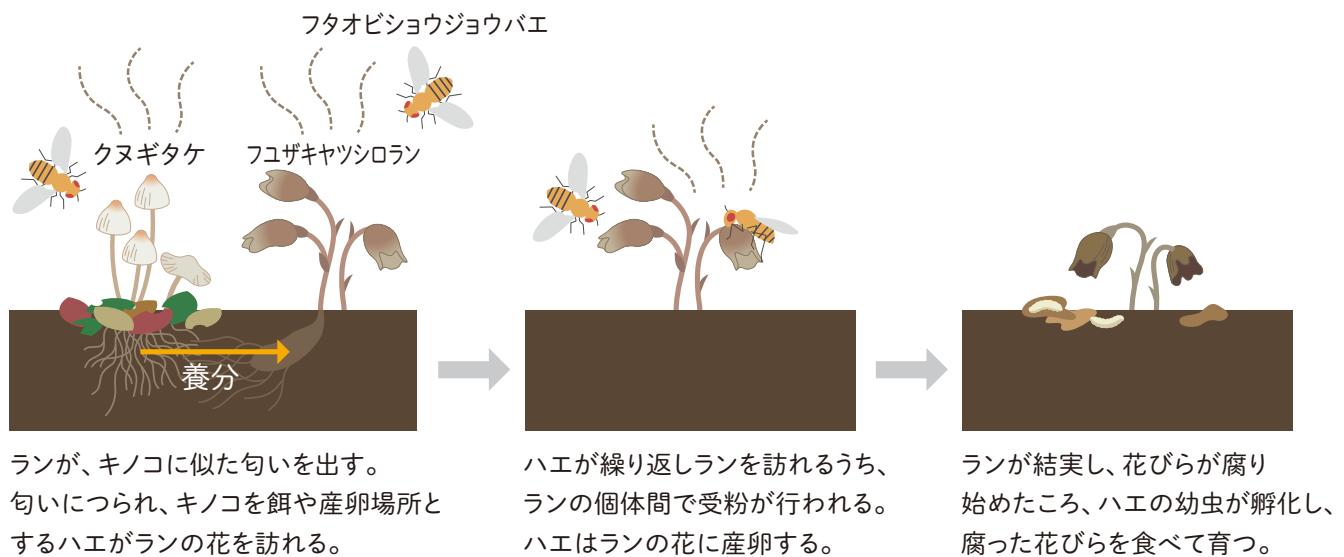
他のヤツシロランの仲間は、独自の送粉者を見つけていました。クロヤツシロランという種では、きのこを食べるショウジョウバエを誘引して、花粉を運ばせることを私たちが発見したのです。じめじめした林床に豊富にいる昆虫とうまく関係をつくることによって受粉を達成してきたようです。

当初はヤツシロランがショウジョウバエを一方的におびき寄せるだけで、ハエには何も報酬を与えないと考えていました。ハエのメスがきのこと間違ってクロヤツシロランに産卵することもありますが、幼虫はランを食べられずに死んでしまいます。

しかしフユザキヤツシロランという種は、腐った花びらがショウジョウバエの幼虫の餌の役割を果たしていることがわかりました(図8)。フユザキヤツシロランを訪れるショウジョウバエは、普段はきのこを食べるハエです。本来ならヤツシロランの花を利用することはできないはずなのですが、フユザキヤツシロランは菌類に寄生してその養分を奪っているため、成分がきのこと近くになっており、ハエが食べられるようになったようです。ラン・きのこ・ハエという3者の関係が変化し、それまで一方的に利用されていたショウジョウバエが、さらにヤツシロランを利用するように進化したの

ではないかと思います。

あらゆる生物間相互作用に当てはまることですが、共生と呼ばれている関係も、実際は寄生などの敵対的な関係に近いものだと考えることが重要です。教科書ではこれらを対立するもののように並べていますが、結局どのような生物の関係も、互いが互いを利用し尽くそうとした結果生じたものであり、たまたま利害のバランスが取れていれば「共生」、バランスが悪ければ「寄生」と私たちが呼んでいるに過ぎません。生物同士の関係は、互いを思いやる関係ではなく、緊張感のある関係と言ってもよいでしょう。利害のバランスは種の組み合わせによって違いますし、場合によっては同じ種でも、地域や時期によって変化しうるものなのかもしれません。



(図8) フスカキヤツシロランとフタオビショウジョウバエの共生関係

## 5. 菌従属栄養植物の種子

植物にとって送粉と並んで重要なのが、種子を散布することです。親株の近くは、その種をねらい撃ちする捕食者や病原菌が集まるため、小さな新芽にとって危険な場所だと考えられています。親のすぐそばで発芽した種子は高確率で死亡すると言われており、数十センチ離れるだけで死亡率が大きく下がるという報告もあります。種子を適度に離れた場所に移動させることが重要であり、また長距離散布に成功すれば、新たな地域に分布を広げる機会にもなります。

植物が、動物の栄養となる果実をつくる、果実ごと種子を食べてもらうことは有効な戦略です。樹木の種子は大型であるため哺乳類や鳥が食べて運ぶことが多く、動物の目につきやすい赤い色をしているものが数多く見られます。種子を運ぶ時は、花粉を運んでもらう時のように出口が厳密に決まっていませんから、様々な動物に食べられて辿り着く場所が違ってきても、その分生き残る確率が上がると考えられます。

菌従属栄養植物の場合、種子を他所へ移動させることは特に切実な問題です。菌があまりたくさんの個体を養えない場合がほとんどですから、親に加えて子が寄生を始めると、菌が食い尽くされるリスクが上がってしまいます。

菌従属栄養植物は寄生能力をもつためか、養分を種子に蓄えていません。種子が非常に小型なので、多くの種は風で散布されると考えられてきました。しかしこれらの植物が生える林床は、風通しが悪く、風で飛ばすことは実質的に不可能です。さらに菌従属栄養植物の果実は、大型のツチアケビの種子などを除けば小さくて美味しくないため、哺乳類や鳥には見向きもされないのです。主に種子を散布するのは、カマドウマやダンゴムシ、ワラジムシなどの少し変わった無脊椎動物であることがわかりました。菌従属栄養植物が林床に進出するにあたり、これまで関わりをもたなかつた変わった動物に種子を託すという独自の進化が起きたようです。



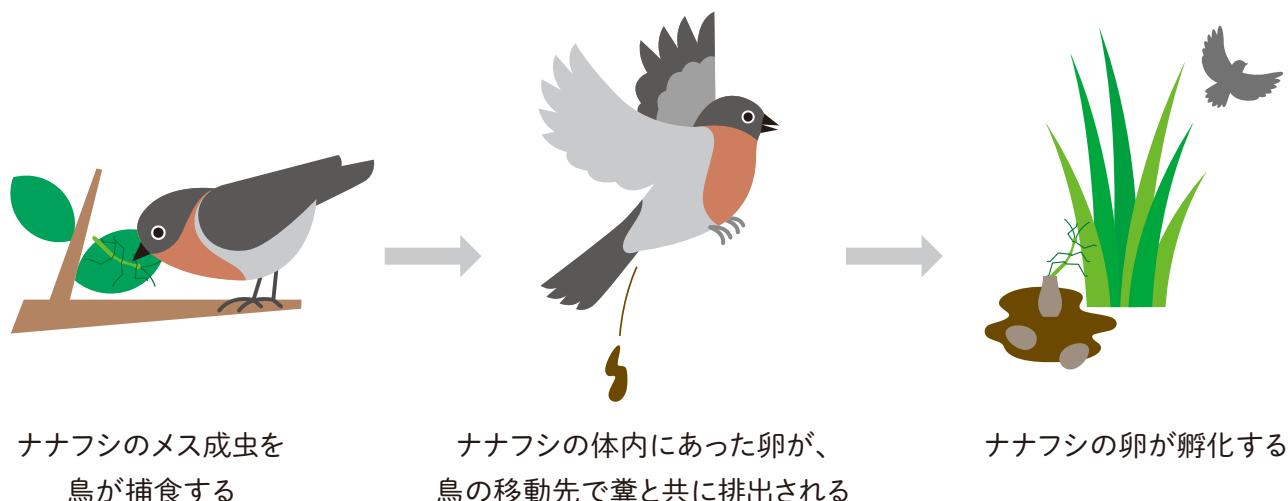
(図9) ギンリョウソウの果実を食べて種子を散布する動物たち  
左:カマドウマ 中央:ハサミムシ(撮影:横山耕) 右:ワラジムシ(撮影:横山耕)

カマドウマやダンゴムシによる散布距離はせいぜい数メートルでしょうが、菌糸はほんの数歩移動しただけで分布する量が変化するので、たとえ数十センチ・数メートルの移動でも生存の確率が上がるはずです。またギンリョウソウを食べるのは、基本的にカマドウマなどの無脊椎動物のみです。移動能力の低い昆虫であるにもかかわらず、ギンリョウソウが全国に分布していることから、長距離の散布が何らかの手段で稀に起こっていると考えられます。ここから、カマドウマやダンゴムシを別の動物が食べることで、稀に長距離散布が起こるのではないかと予想しているところです。

## 6. 様々な生物の関係を探る

植物の周りには、植物を利用する生物をさらに利用する生物が集まります。フィールドでは、生きもの同士の多様な関係に気づくことがあります。例えば、ナナフシのメスの成虫が鳥に食べられた際、ごく稀に、ナナフシの体内にあった卵が消化されずに生き残ることを発見しました。鳥の糞として排出されたナナフシの卵が、鳥の移動先で孵化するのです。いわば「ナナフシの鳥散布」です。昆虫の卵が鳥に食べられて運ばれるという発想は、植物を研究してきたからこそ持てた視点かもしれません。ましてや枝に擬態して鳥の眼を免れているとされるナナフシです。しかし成虫を果肉、卵を種子と捉えれば、起こっていることは結果的に種子散布と同じです。実は、野外でナナフシが鳥に捕食されている様子もよく見られるのです。ただし、鳥に消化されない卵をもつことが、本当に鳥の捕食に対する適応かどうかはわかりません。寄生バチや病原菌に対する適応の結果かもしれませんし、全くの偶然ということもあります。

全国のナナフシのDNAを調べると、実際に、離れた地域のナナフシの個体群の間で遺伝子の交流があることが検出されました。やはり稀ではあっても、鳥による卵の散布は起こっているのでしょうか。ナナフシにとって鳥に食べられることは移動分散のメリットがあるともいえますが、これはあくまで種単位の話で、個体の単位でみればデメリットが大きすぎます。やはりナナフシの主要な戦略は、枝そっくりに擬態して捕食を免れることだと思いますね。それでも、実際、長距離移動をする鳥に捕食されることが、ナナフシの分布拡大や局所的な絶滅の回避につながっている可能性はあるのです。



(図10) 鳥によって卵が散布されるナナフシ

現在、命名と記載がなされている生物は数多くいますが、その生き様までわかっている種は、そう多くはありません。観察することで、今まで見落とされていた生物同士の関係性が見えてくることがあります。いわゆる最先端の手法を使う研究は、数年単位で価値が変わっていきますが、観察に

よって得られた事実には、時代を問わず普遍的な価値があります。そのような意味ではあまり肩肘張らず、好きな生物を観察し、未知の生態を明らかにしたい位の動機で研究するもよいのではないかと思います。その一方で、自らが発見・開拓してきた現象を深く理解するためには、新しいテクニックを取り入れ、困難な課題に挑戦することも重要です。例えばナナフシの研究では、最先端のDNA解析も取り入れることで、実際にナナフシが鳥に食べられることによって長距離分散しているという証拠を得ることができましたし、菌従属栄養植物については、放射性同位体やDNA解析を行って初めて、菌類と植物の対応関係や進化の道筋を知る手がかりを得られました。いずれにせよ、どんな生物でもじっくり観察して、きちんと勉強して意義付けをすれば、程度に差はあるにしろ、必ずほかの人にも面白いと思ってもらえるような研究になると思っています。



末次健司 (すえつぐ・けんじ)

1987年奈良県生まれ。2014年京都大学大学院人間・環境学研究科相関環境学専攻博士後期課程修了、博士(人間・環境学)。2015年京都大学白眉センター特定助教、神戸大学大学院理学研究科生物学専攻生物多様性講座特命講師、同准教授を経て2022年より教授。主著に「『植物』をやめた植物(たくさんのふしぎ傑作集)」(福音館書店)がある。

# アーカイブより

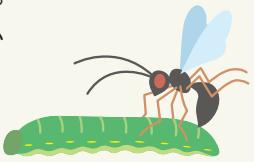
## 植物とチョウ

チョウなどの鱗翅目の幼虫の多くは、決まった種類の植物の葉を食べます。彼らの多様な葉っぱの好みはどのように進化してきたのでしょうか。



## 植物とチョウと寄生バチ

アブラナなどの植物は昆虫に食べられると、その昆虫の天敵を誘引する匂いを出します。天敵の天敵と手を組む、匂いの意外な役割とは？



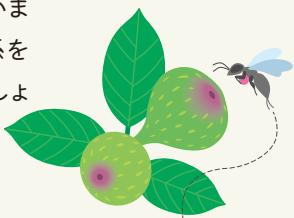
## 虫こぶ形成昆虫と虫こぶ

植物の虫こぶは、虫にとって食料つきの安全な住処。通常の植物にはない器官である虫こぶを、昆虫はどうやってつくるのでしょうか？



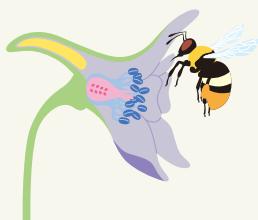
## イチジクとイチジクコバチ

イチジクとイチジクコバチは絶対的な共生関係を結んでいます。世代を超えてこの関係をつなぐ仕組みをみてみましょう。



## オオヒエンソウとマルハナバチ

花のかたちや色が多様なのは、花粉を運んでくれる特定の動物（主に昆虫）にあわせた花をつくりあげてきたため。花にはどんな工夫があるのでしょう？



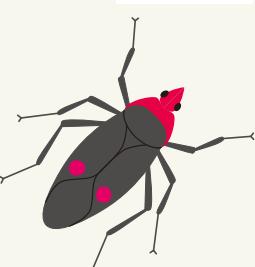
## 植物と種子食者

熱帯雨林の木々は、種を超えて同じ時期に一斉に開花します。開花のタイミングを合わせるしくみとは？また一斉開花は動物にとってどんな意味をもつのでしょうか？



## カメムシ

食う・食われるの関係は生態系の基本です。特定の種が増えすぎない、数のバランスはどのように保たれているのでしょうか？



## リターと土壤動物

土壤中では、菌類や細菌、ミミズなど無数の生物が、ミネラルの循環を促しています。彼らのそれぞれの役割は？



## SPECIAL STORY

# 草食動物の時間

山之内 克紀

アドベンチャーワールド



### CHAPTER

1. 反芻動物と非反芻動物
2. 反芻とは
3. 草食動物の献立
4. 食事は楽しい
5. 特性を理解し、観察し、献立を考える



## 1. 反芻動物と非反芻動物

アドベンチャーワールドで飼育している草食動物の餌の量をご覧いただきたいと思います。シマウマとバイソンの体重と餌の量に注目してください。



チャップマンシマウマ(オス)



アメリカバイソン(オス)



エランド(オス)

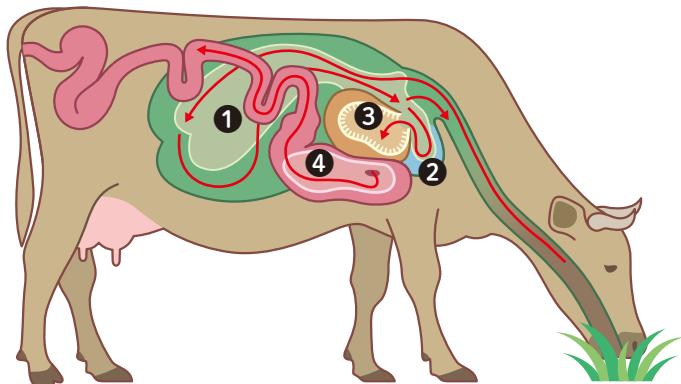


アミメキリン(オス)

体重	350kg	体重	700kg	体重	500kg	体重	900kg
牧乾草	9kg	牧乾草	6kg	牧乾草	6kg	牧乾草	16kg
配合飼料	1kg	配合飼料	3kg	配合飼料	3kg	配合飼料	2kg

シマウマの体重が350kgで食べる量は9kg。バイソンの体重はその倍の700kgで食べる量はシマウマよりも少ない6kgです。何故でしょうか。その理由につながるのが、それぞれの「胃」の数です。ウシ科であるバイソンやエランド、キリン科のキリンには胃が複数あり、複胃動物と呼ばれています。対するシマウマの胃は1つです。わたしたちヒトも1つで、单胃動物です。複数の胃をもつ動物は、反芻をする「反芻動物」とも呼ばれます。

## 2. 反芻とは



② 第二胃 ハチノス



③ 第三胃  
センマイ

① 第一胃  
ミノ

④ 第四胃 ギアラ

焼肉屋さんでウシの4つの胃を注文し、写真を撮りました。1番目の胃はミノと呼ばれる部位です。2番目はハチノス、3番目はセンマイ、4番目はギアラです。

まず、反芻動物が草を食べると、1番目の胃、第一胃に入ります。胃がごちょごちょと動き、一部は第二胃へ、一部は口に戻してモグモグと咀嚼そしゃくします。それがまた第一胃に入ったり、口に戻ったり、といった動きを繰り返すのです。繰り返すことで、どんどん食べたものを小さくしていきます。食べては次の胃へ、食べては戻してまた次へ、と、行ったり来たりしながら、胃から胃へと流れていく。主に、胃から口の中に食べたものを戻してかみ、また胃へ入れるという繰り返しの動きを「反芻」と呼びます。第一胃の中には、内容物1gに対して100億～1000億の細菌、10万～100万の原生動物がいると言われています。細かくなつた食べ物に第一胃でこれらの微生物が混ざり、微生物が発する酵素によってさらに細かくなつてきます。それを反芻する動物は最終的に腸で吸収し、栄養にしているのです。動物自身が纖維を消化できないところを、胃の中の共生微生物が消化を助けているというわけです。反芻動物の場合は主に第一胃と腸に共生微生物がいます。反芻する時に出るたくさんの唾液、これはアルカリ性です。唾液のアルカリ性を利用し、第一胃の中を弱酸性に保つことで微生物がうまく働きます。しかし、胃で消化されたものは酸性に偏ってしまう。そこでまた、口に戻った食べものを唾液でアルカリ性に傾けていきます。



(動画) エランドが反芻する様子  
一度飲み込んだあと、しばらくしてもう一度口に戻し、咀嚼を再開する。

ウシは1分間におよそ40回から60回、モグモグと咀嚼しています。1日のうちに、6時間から10時間くらい反芻をしているようです。反芻動物は、纖維質の80%を第一胃で分解します。対して反芻しない動物では45%程度です。そして反芻動物の胃では微生物の働きにより、揮発性脂肪酸として代表的な酢酸、プロピオン酸、酪酸が産生され、ビタミンB群、ビタミンCなども合成します。第一胃の中で発生した微生物は、食べたものと一緒に、私たちと同じような胃酸が出る第四胃で消化されてしまいます。それらの微生物はタンパク質、菌体タンパクとして、菌そのものが反芻動物のエネルギーとなります。反芻動物は胃で発生した微生物をも腸で吸収し、エネルギーを得るのです。食べる量が少ないにも関わらず、複胃動物-反芻動物の体が大きい理由がここにあります。

## 反芻動物



エランド



アミメキリン



チャップマンシマウマ



アフリカゾウ

## 非反芻動物



エランド・キリン・シマウマ・ゾウ、4種類の動物それぞれの糞です。反芻をする動物と反芻をしない動物を比べてみてください。エランドとキリンが反芻動物です。反芻動物は纖維を80%消化することができるので、食べたものが糞として出てくる時には、纖維質がほとんどありません。一方で、反芻しない動物が分解するのは45%程度です。必然的に、反芻しない動物の方が纖維質が多く、また、糞の体積が大きくなります。飼育係は動物の糞を毎日注意深く観察し、健康状態を判断します。

### 3. 草食動物の献立

草食動物の餌は主にイネ科とマメ科の牧乾草です。<sup>ぼくかんそう</sup>牧乾草を主な餌として利用する理由は、貯蔵に便利なためです。生の葉は乾燥した葉に比べ、4倍もの体積があります。また、腐りやすく、発酵しやすいため、保存のための冷却設備が必要です。乾かしたものは水分量が少ないため、生の葉と比較すると同量あたりの栄養価が高くなります。イネ科は纖維が多く、マメ科は纖維が少なくタンパク質とミネラルが豊富に含まれています。牧乾草は産地によって、また季節によっても栄養価が変動します。畜産の現場で利用される日本標準飼料成分表を参考に牧乾草の栄養をみてみると、例えばイネ科のチモシーという飼料は、穂が出る前と後でタンパク質の含有量が変化します。マメ科のアルファルファも、開花時期の前後で、タンパク質や纖維の量に違いがあります。

食べたものを長い時間かけて反芻し、余すところなく栄養を吸収する反芻動物には、栄養価の高い餌を必要なだけ食べさせることが重要です。たとえ新鮮であっても、栄養価の低い草からは十分な栄養を得ることはできません。一方で反芻をしない動物は消化が早く、すぐに次の餌を食べることができます。反芻動物は口や胃の中に長く食べたものが入っているため、次から次に食べることはできないのです。

### 4. 食事は楽しい

キリンなど樹の葉を主食とする動物には、牧乾草だけではなく、生の葉が必須となります。園内で育てている植物の葉や、購入した生の葉を与えています。反芻動物ではありませんが、ゾウは生葉を枝ごと渡すと、枝を振り回したり、ポキポキと折ったりして、食事の時間を楽しめます。食事というのは楽しい時間なのです。楽しい時間は、ストレスの軽減につながります。私たちも美味しいものを食べると嬉しくなるのと同じように、食事を豊かにすることも大切なことなのです。牧乾草と比べると生の葉の栄養価は低く、貯蔵の観点からも餌のメインにはなりませんが、生の葉も定期的に食べさせています。



## 5. 特性を理解し、観察し、献立を考える

それぞれの動物の飼育の初期には、文献や資料を参考にしたり、他の動物園と情報共有して餌の種類や量を考えます。そこから、長い年月をかけ、日々試行錯誤を重ねていくことで、基本となる餌の構成は固定されていきます。畜産動物については研究が進んでいて、たくさんの知見やデータが蓄積されているのに対し、動物園の動物たちの情報は限定的です。そのため、鋭い観察眼をもって動物の変化に気づき、状況に応じて献立を考える判断力が、飼育員には求められます。それができないと、動物を健康に飼育することはできないのです。



山之内 克紀 (やまのうち・かつき)

大阪府守口市出身。1985年株式会社ワールドサファリ(現 株式会社アワーズ)に入社。28年間にわたりサファリワールドで草食動物飼育をはじめ、案内、管理業務を担当。現在は緑化業務を主体とし、園内の植物の配置や管理に携わる。

BRH WORKS

# 生命誌へのお誘い



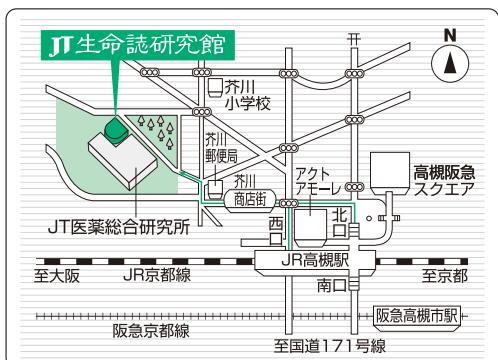
DOWNLOAD

## とび出す食草園のチョウ

チョウの成虫がさまざまな花の蜜を吸うのに対して、チョウの幼虫は種類によって決まった種類の葉(食草)しか食べません。植物はさまざまな化学物質をつくりて虫から身を守っているので、それを解毒できる幼虫だけが食事にありつけるのです。食草園を訪れるチョウについて、その幼虫と食草の関わりを紙工作でご紹介します。



ダウンロードはこちらから



### JT生命誌研究館

〒569-1125 大阪府高槻市紫町1-1

Tel:072-681-9750(代表) Fax:072-681-9743

開館時間 10:00-16:30 入館無料

休館日 毎週月曜日／年末年始(12月29日-翌年の1月4日)

最新の開館情報はサイト([www.brh.co.jp](http://www.brh.co.jp))でご確認ください。

交通 JR京都線高槻駅より徒歩10分

阪急京都線高槻市駅より徒歩18分

JRのご利用が便利です。