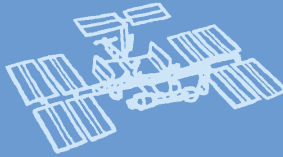
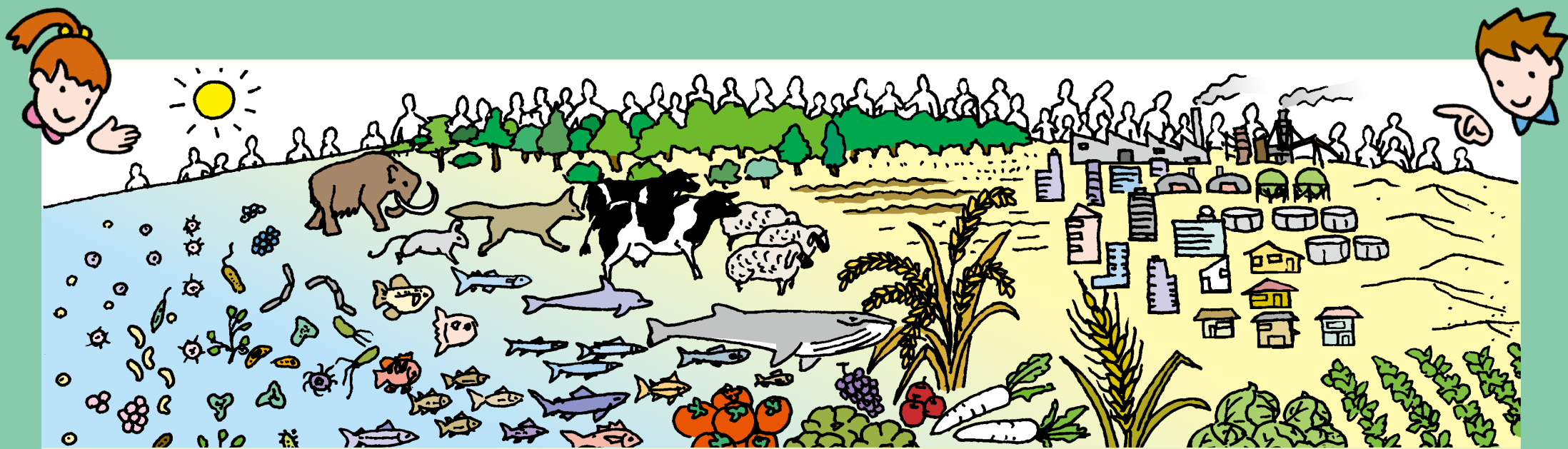


未来の環境を受け取る子どもたちから
理研の博士3人への質問



生物多様性を 守れますか





地球にはさまざまな動物や植物、微生物^{びせいぶつ}がいますね。いったい、どのくらいたくさんの種^{しゆ}が暮らしていると思いますか？ 最新の研究^{さいしん}では、なんと！870万種^{よぞく}と予測^{よそく}されています。さらに、私たち人間^{わたし}ひとりひとりの顔や体つき、性格^{せいかく}がちがうように、同じ種^{しゆ}でもおのおの性質^{せいしつ}が異なります。このように、さまざまな種や性質^{せいしつ}の異なる生物^{せいぶつ}がいることを「生物多様性^{せいぶつ たようせい}」といいます。

地球には、なぜ870万種もの生物^{たんじゆう}がいるのでしょうか。地球に生物が誕生したのは、40億年^{おく}ほど前^{ぜん}。想像^{そうぞう}もできない大昔^{さいしよ}ですね。最初の生物^{さいしよ}は、光が届かない深い海の底^{とど}で生まれた、と考えられています。そして、生物は長い時間をかけて、浅い海^{あさ}や陸上^{りくじゆう}、空など地球のさまざまな環境^{かんきやう}で生きていくことができるように、いろいろな種に進化^{しんか}していきました。砂漠^{さばく}や南極^{なんきよく}、地下のようなとても厳しい環境^{きび}でも暮らすことができる種^{しゆ}がいます。

生物は一つの種だけで生きていけるわけではありません。それは人間も同じです。朝食のメニューを見てもわかるでしょう。お米や納豆^{なつとう}、牛乳^{ぎゅうにゅう}やパン、野菜^{やさい}や肉や魚……、いろいろな生物やそれらがつくるものを食べることで、生きていくことができます。病気になったときに飲む薬^{りくぐすり}の多くは、微生物や植物がつくり出す物質^{ぶつしつ}がもとになっています。建物の柱や家具^{たてもの}には、木材^{もくざい}が使われていますね。私たちの生活は、まさに生物多様性^{せいぶつ たようせい}に支えられています。

そもそも、私たちの呼吸^{こきゅう}に必要な酸素^{ひつよう}は、植物が光合成^{さんそ}でつくり出したもの。そして、私たちが吐き出した二酸化炭素^{にさんかたんそ}を植物は光合成に利用^{りよう}します。このように生物は、さまざまな物質^{ぶつしつ}をたがいにやりとりする生態系^{せいたいけい}をつくることで、暮らしています。

しかし私たちはまだ、地球の生態系^{りかい}についてよく理解^{りかい}できていません。生態系の中でどのように物質^{ぶつしつ}をやりとりしているのか、それぞれの種^{しゆ}がどんな役割^{やくわり}をしているのか、よくわかっていないのです。そもそも870万という種^{しゆ}の数は予測^{よそく}です。そのうち、私たちが実際に確認^{じっさい}できている種^{しゆ}は、陸上の生物^{りく}では約14パーセント、海の生物^{うみ}ではわずか9パーセントほどです。地球の生態系^{せいたいけい}をつくるメンバーさえ、まだほとんど知らないのです。

ところが現在^{げんざい}、人間が環境^{かんきやう}を変えたり汚染^{おせん}したりすることで、生物の種^{しゆ}の数がどんどん減^へっています。生物多様性^{せいぶつ たようせい}が失われているのです。それにより、生態系^{せいたいけい}にどのような影響^{えいきやう}が現れるのか、予測^{よそく}できていません。

約40億年という生物進化^{せいぶつしんか}により実現^{じつげん}した870万種という生物多様性^{せいぶつ たようせい}が、人間によって、あっという間に大きく失われようとしています。

かけがえのない生物多様性^{せいぶつ たようせい}を守^{まも}ることはできるのでしょうか。生物多様性^{せいぶつ たようせい}を「知る」「守る」「再生^{さいせい}する」というテーマごとに、理研^{りけん}の3人の博士^{はかせ}を訪ねて、聞いてみましょう。



生物多様性を知る

遺伝子を調べる方法などで
微生物の多様性や役割を知ります。

最初に訪ねたのは、微生物の専門家の
大熊盛也さんです。
21世紀に入り、遺伝子を調べる方法などにより、
微生物はどれくらい多様で、生態系や私たちの
健康にとってどんな役割をしているのかが
わかり始めてきました。

おおくまもり や
大熊盛也 さん

■ 私たちの体は微生物だらけ

「生物多様性って、なんだか難しそう。私たちの生活とはあまり関係なさそうだし」——そう思っていないですか。とんでもない！ 実は、みなさんの体にもさまざまな微生物がすんでいて、それぞれの人の体質や病気にとっても深く関わっています。だから、生物多様性って、とても身近なものなのです。

では、人の体にはどれくらいの微生物が暮らしているのでしょうか？ 実は最近まで、それがよくわかっていませんでした。なにしろ微生物とは、目では直接見るできない小さな生物のこと。その中には、おなじみの大腸菌やビフィズス菌のような細菌や、カビ、パンやお酒づくりに欠かせない酵母、池や海で光合成を行う藻類などがふくまれています。

目に見える動物や植物ならば、種によって形が異なり、どんな性質なのかも調べやすいのですが、微生物は小さすぎるため、顕微鏡で観察しただけでは、それぞれの性質がよくわかりません。これまでの微生物の研究では、ある種だけを取り出して、育てて増やす「分離・培養」という方法が主に行わ

れてきました。育てて増やすことができれば、いろいろなテストをして、どのような性質かを知ることができます。

ところが、その分離・培養が難しいんです。現在の技術で分離・培養できる微生物は1パーセント以下。99パーセント以上の微生物は、どんな種か、どんな性質なのか、よくわかっていません。

21世紀に入ると、分離・培養とは別の方法で、微生物

を調べる研究が盛んになってきました。生物の設計図である遺伝子を調べる方法です。遺伝子には、生物に必要なタンパク質をつくるための情報が書かれています。現在の主な方法は、ある場所からさまざまな微生物をこっそりとってきて、そこにふくまれる遺伝子の情報を読み取る、というものです。それにより、その場所にいる微生物の種の数を予測することができます。

こうして、たとえば人の腸には、細胞の数で100兆個、数百種もの微生物がいることがわかってきました。さらに口の中や皮膚にも、それぞれ数百種の微生物が暮らしています。

人の体は、60兆個の細胞からできていて、遺伝子の数は2万2000。一方、人の体にすむ微生物は、細胞の数で1000兆個、遺伝子の数では50万以上と予測されています。細胞の数でも遺伝子の数でも微生物のほうが多いのです。

■ 微生物が私たちの体質や病気を大きく左右する

その微生物たちが、人の体質や病気にとっても深く関わっていることが、わかり始めてきました。

たとえば、太っているマウスの腸にすむ微生物を、実験で別のマウスの腸に入れたところ、そのマウスは太ってしまったそうです。

また、日本人の腸には、ノリなどの海藻の栄養分を分解してくれる微生物

人の体は微生物だらけ

口の中

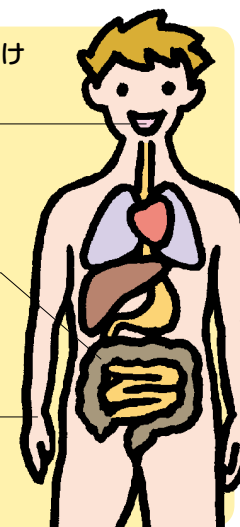
だ液1ミリリットルあたりの微生物の細胞数：1億～10億個

腸

便1グラムあたりの微生物の細胞数：100億～1000億個

皮膚

1平方センチメートルあたりの微生物の細胞数：1万～10万個



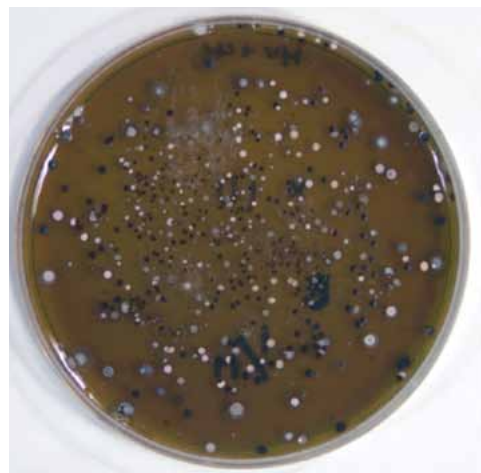
がいることもわかりました。その微生物は、アメリカやヨーロッパに住む人の腸ではほとんど見つかりません。私たち日本人は、微生物のおかげで、ノリなどの栄養分を消化することができるのです。

みなさんもO157という名前を聞いたことがあるでしょう。食中毒の原因となる大腸菌の一種です。腸にすむビフィズス菌の一種がつくる物質が腸を刺激して、O157の感染への抵抗力を高めていることを、理研の研究者たちはつきとめました。

人のことを知るには、人を調べるだけでなく、人の体にすむ微生物の多様性と役割を調べる必要があるのです。

■ 1グラムの土に100万種の微生物

人の体だけでなく、土の中も微生物だらけです。わずか1グラム、1円玉と



土の中も微生物だらけ
土の中のさまざまな微生物をシャーレで培養したもの

同じ重さの土に、細胞の数で1億～10億個、10万～100万種もの微生物がすんでいます。

特に、植物の根のまわりの土にはたくさんの微生物がいて、植物の成長に深く関係しています。たとえば、根から出る栄養分をもらう代わりに、植物の成長に欠かせない窒素やリンなどを植物が利用しやすい形にしてあたえている、根粒菌や菌根菌という微生物がいます。

空気の80パーセントは窒素ですが、植物はそのままの形では利用できません。根粒菌などの微生物が、窒素を植物が利用できる形にしてくれるおかげで、植物は成長できるのです。もしそのような微生物がいなかったら、植物は成長できず、植物をエサにする動物も生きていけません。目に見えない微生物が生態系を支えているのです。

■ 環境にやさしい農業にも微生物の多様性が大事

ところで、農業では「土が大事だ」と聞いたことはありませんか？ それは、作物がよく育つためには、菌根菌のような微生物やミミズなど、土の中の生物多様性が大事だ、ということです。農業をしている人たちは、これまでの経験により作物がよく育つ土づくりをしてきました。しかし、その土の中にどのような微生物がいて、どんな物質のやりとりをしているのか、科学的にはほとんどわかっていません。昔から重要だと知られている菌根菌でさえ、分離・培養ができないため、その性質をくわしく調べることができていません。

人の体にたくさんの微生物がすんでいるように、植物の体にもたくさんの微生物がすんでいます。それらの微生物も植物の病気や成長に深く関係していると考えられます。植物のことも、植物だけを調べているだけではわからないのです。

作物の病気を防ぐために農薬を使うと、土の中の生物多様性が大きく失われることがあります。また、化学肥料を使いすぎると、土の中の生物たちが作り出す物質のやりとりのバランスがくずれたり、使い切れなかった化学肥料の成分が水にとけて田んぼや畑から流れ出たりして、環境を汚染してしまうことがあります。

土や植物の体にすむ微生物の多様性と役割を知することは、農薬や化学肥料の量を減らして生物多様性を守りながら、たくさんの作物を育てる農業に役立つはずです。

■ 微生物の多様性や生態系での役割を調べる

このように、微生物の多様性が、動物や植物の多様性を支えています。では、場所や環境によって微生物の種はどれくらい異なるのでしょうか。南北に長い日本列島には、さまざまな環境があり、多様な微生物がいると予測されています。しかし、きちんと調べられてはいません。そこで私たちは、微生物の中では分離・培養がしやすく、性質などを調べやすい、酵母の多様性について調べることにしました。

酵母は、古くからパンやお酒づくりに利用されてきました。ただし、そんな酵母でも、私たちがすでに知っている種は全体の5パーセントくらいだと予測されています。

調べたのは、沖縄県の西表島と北海道の利尻島という南北に遠くはなれた、気候の異なる2カ所です。それぞれの場所の土の中や植物の体にすむ酵母を集めて遺伝子を調べたところ、183種の酵母が見つかりました。そのうち半分は、これまで知られていない新種です。そして、西表島と利尻島のどちらからも見つかった種はわずか15種類でした。二つの島では酵母の種は大きく異なっていて、多様性が高いことが確かめられました。

微生物は、食品だけでなく、薬をつくったり、汚水をきれいにしたりするなど、さまざまな目的で利用されています。しかし、人が必要とする性質だけに注目していても、微生物の多様性や生態系での役割がわかりません。これまで、生態系を調べる研究者と微生物の研究者は、多くの場合、ちがう目的で研究をしていました。

遺伝子を調べる方法などが発展することで、生態系の研究者と微生物の研究者が協力して研究できるようになってきました。

■ 微生物をもっとうまく利用する

微生物が、実際の環境の中で、ほかのどんな種といっしょに暮らし、物質をやりとりしているのかがわかれば、今までよりももっとうまく微生物を利用できるようになるでしょう。たとえば、ある物質を分解したいとします。これまでは分解酵素とよばれる、物質を分解するタンパク質を1種類だけ利用することがほとんどでした。でもその分解酵素を持つ微生物が、実際の環境では別の微生物といっしょにすんでいて、協力して物質を分解していることがわかれば、そのしくみを利用して、今までよりもうまく物質を分解できるようになるでしょう。

ある場所から、たくさんの微生物をこっそりとってきて遺伝子を調べること、その場所に、どんな遺伝子を持つ微生物がいるのかがわかるようになってきました。しかし、どの微生物がどの遺伝子を持っているのかまではわかりません。それがわかれば、この遺伝子を持つ微生物と、この遺伝子を持つ微生物が、この物質をやりとりしているのだろう、と予測することができるようになります。

「だったら、ねらった微生物から1個の細胞だけを取り出して、遺伝子の情報を読み取ればいいんじゃないの？」と思うでしょう。しかし、それは技術的

に難しく、わずかな成功例があるだけでした。ところが2013年くらいになると、1個の細胞から、その微生物が持つ遺伝子の大部分を読み取ることができるようになってきたのです。

でも、微生物の性質を遺伝子の情報だけから調べるのは無理があります。これまで知られているものとはまったく異なる遺伝子は、その働きを予測することができません。微生物の性質をくわしく調べるには、やはり分離・培養して、いろいろなテストをする方法が欠かせません。分離・培養の技術を発展させる取り組みも続けられています。

■ 微生物の多様性を保存し、研究に役立てる

生物の研究をするには、実験用の生物や遺伝子など（「バイオリソース」といいます）が必要です。私たち理研バイオリソースセンターでは、日本をはじめとするさまざまな研究者から、実験用の動物や植物、細胞、微生物、遺伝子をあずけてもらい、それをきちんと保存・管理して、日本や世界の研究者に提供しています。

微生物を担当する私たちの研究室には、微生物をあつかう優秀な専門家がそろっていて、保存している細菌の種数は世界第2位。4ページの写真は、こおらせて保存している微生物の容器を、私が引き出しているところです。

これまでは、貴重な種でも、それを研究していた研究者が引退してしまうと、その種が保存されず、ほかの研究者が研究を引きつぐことができない場合もありました。私たちはそのような貴重な種も保存しています。また最近では、微生物の遺伝子についても保存して、提供することを始めました。私たちは、微生物の多様性を保存して、多くの研究に役立てているのです。たとえば、先ほど紹介したO157の感染を防ぐビフィズス菌の研究には、私たちが提供したビフィズス菌の種が使われました。

私の話を聞いて、「なんだ、微生物はわかっていないことだらけじゃないか」と思ったことでしょう。そのとおりです！ きっと、私たちがまだ知らない、すごい能力を持つ微生物がいるはずですよ。

世界の人口は70億をこえました。70億以上の人々が、環境を大事にして生物多様性を守りながら、健康で豊かに暮らしていくには、微生物の多様性と役割を知り、その能力をうまく利用していく必要があります。

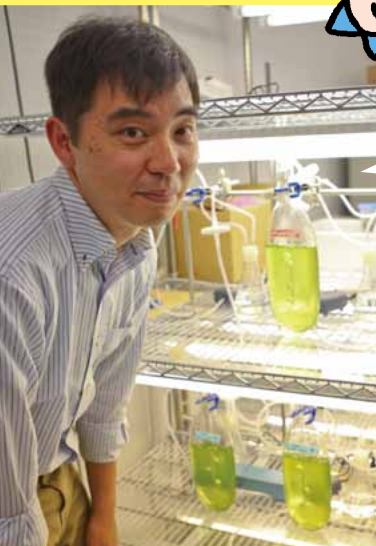


生物多様性を守れますか？

生物多様性を守る！

コケの力で金属のリサイクルを進めて、
環境と生物の多様性を守ります。

次に訪ねた井藤賀 操さんは、
コケの専門家です。
井藤賀さんは、鉛や金をたくさん蓄積する
コケを発見しました！
そのようなコケを利用して、
環境と生物の多様性を守ろうとしています。



井藤賀 操さん

撮影：STUDIO CAC

■ 東京オリンピックのメダルに コケでリサイクルした金・銀・銅を！

2020年に東京でオリンピック・パラリンピックが開かれることが決まりましたね！ みなさんの中には、選手として出ることを目標に定めた人もいるでしょう。私も東京オリンピックを目標にすることにしました。選手としてではありません。オリンピックといえばメダル。そのメダルの一部に、コケを利用してリサイクルした金・銀・銅を使ってもらうことをめざします。

「それって、生物多様性を守ることと関係ないのでは？」と思うかもしれませんが、いいえ、大いに関係あるんです。

生物多様性を守るのに必要なことは何でしょうか。生物は、地球のさまざまな環境で生きていけるように多様に進化しました。地球のあらゆる場所が同じような環境だったら、生物は多様に進化しなかったでしょう。

生物多様性を守るには、地球の多様な環境を守ることが必要なのです。今、生物多様性が失われつつあるのは、人間の活動による環境の汚染や破壊に

よって、環境の多様性が失われていることが、大きな原因だといえます。さらに、石油や石炭などの化石燃料を燃やしてエネルギーを得ることで、大量の二酸化炭素が大気中にたまり、地球温暖化が起きています。その急な気温の上昇に、多くの生物はたえられないだろうと心配されています。

ですから、環境の汚染や破壊を防ぐこと、しかもそれを、地球温暖化が起きないようにエネルギーをあまり使わないで実現することが求められています。それが生物多様性を守ることに繋がります。

そのために、紙やペットボトルをリサイクルするように、金属もリサイクルすることがとても重要です。金属をふくむ鉱石をとるには鉱山をほる必要がありますが、そのとき、たくさんのエネルギーが使われ、環境が破壊されたり汚染されたりすることがあります。

「都市鉱山」という言葉を聞いたことがありますか？ 日本は資源のない国だといわれます。しかし、都市から出る大量のゴミの中には、金属をたくさんふくんだ電気製品などがあります。そこから金属をリサイクルできれば、大量のゴミは都市鉱山となります。日本には、実はたくさんの金属資源があるのです。自然の鉱山からではなく、都市鉱山からエネルギーをあまり使わずに金属を取り出してリサイクルすれば、環境と生物の多様性を守ることにつながります。

■ 鉛を蓄積するヒョウタンゴケ

金属をリサイクルするには、特定の金属を蓄積させる必要があります。私は鉛や金をたくさん蓄積するコケを発見しました。太陽光でそのようなコケをたくさん増やししながら金属を蓄積させることで、エネルギーをあまりかけずに金属をリサイクルする技術を開発しようとしています。

まず、どのように鉛や金を蓄積するコケを発見したのか、紹介しましょう。話は2003年にさかのぼります。私は、ゴミを燃やした灰から植物を使って有害な鉛を取り除く研究プロジェクトに参加していました。でも、なかなかうまくいきません。灰をふくんだ土にいろいろな植物を植えて育ててみましたが、どれもかれてしまうのです。あるとき、プロジェクトのリーダーの先生が、「灰があってもかれない植物ってないのかな？」と、ほそつつぶやきました。そこで私は、「コケなら生えるものがあります」と答えました。



福岡県のゴミ処理場に生えていたヒョウタンゴケとその原糸体



約40億年前に海で生まれた生物は、長い間、海で進化を続けました。やっと植物が陸上に進出したのは、4億年ほど前です。そしてコケは、ほかの植物とはいち早く分かれて、独自に進化しました。ほかの植物が生きられないような厳しい場所でも、生えることができるコケがあります。400年間、氷に閉じこめられていても、生き返ったコケもあるそうです。

私は大学生のときから、コケの研究を続けてきました。いつもスプーンと容器を持ち歩き、めずらしいコケを見つけると採取しています。福岡県に住んでいたとき、ゴミ処理場に生えているヒョウタンゴケを見つけ、採取して保存していました。

そのヒョウタンゴケは、灰があってもかれないのです。私は、そのコケが、灰にふくまれる有害な鉛を蓄積する能力があるのかどうか調べることにしました。コケは、胞子から芽を出して「原糸体」という子ども段階になり、やがて私たちがよく見かける大人段階のコケになります。私はヒョウタンゴケの原糸体を水の中で育てながら、そこに灰の抽出液を入れてみました。すると、その抽出液にふくまれていた鉛が、きれいに除去されたのです。

ヒョウタンゴケを調べてみると、おどろくべきことがわかりました。乾燥させて重さを量ると、なんとヒョウタンゴケの重さの70パーセントが鉛だったのです！ コケ以外にも鉛などの金属を蓄積するものが知られていますが、蓄積できる重さは自分の重さのせいぜい十数パーセント。ヒョウタンゴケは鉛を蓄積する能力がずばぬけて高いことがわかったのです。

■ ヒョウタンから金！

2008年に研究プロジェクトは終わりましたが、ヒョウタンゴケの能力に

興味を持ってくれた企業が現れました。その企業と、ヒョウタンゴケを利用して、工場などから出る排水から鉛などの有害な金属を取り除いて、水をきれいにする技術を共同で開発することになりました。そこで私は、ヒョウタンゴケがほかの金属も蓄積するかどうか調べることにしました。さまざまな金属の溶液をつくり、その中にヒョウタンゴケを入れて調べました。あるとき、金の溶液を試したときです。もちろんコケは緑色。それが金の溶液を入れたと、赤色に変わったのです。「いったい何が起きたんだ!?」とびっくり

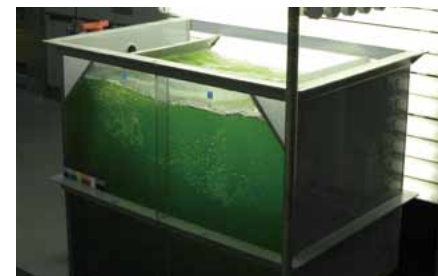
しました。実は、金は細かいつぶの状態では赤色に光るのです。ヒョウタンゴケは乾燥させた重さで11パーセントも金を蓄積しました。コケは水をきれいにするだけでなく、金のリサイクルにとっても役立ちそうです。

さらにさまざまな種類のコケが、水銀やスカンジウムという金属を蓄積することもわかりました。

水銀は生物にとっても大きな被害をあたえることから、水銀の使用を世界的に規制するための「水銀に関する水俣条約」が、2013年10月に採択されました。たとえば発展途上国の一部の人たちは、金の鉱石から金だけを取り出すときに水銀を使うので、健康に被害が出ています。有害な水銀を使わない技術や水銀を取り除く技術を開発することが求められています。

一方、スカンジウムは、性能の高い製品や材料に使われる「レアメタル」の一種です。スカンジウムとアルミニウムの合金は軽くて強度が高いため、飛行機の部品や野球のバットなどのスポーツ用品に利用されています。

コケを、水銀を取り除いたりスカンジウムをリサイクルしたりすることにも利用できるかもしれません。



ヒョウタンゴケに蓄積した金

水の中で原糸体をたくさん増やす装置
写真では室内の照明の光により光合成をさせていますが、エネルギーをあまり使わないようにするには、屋外で太陽の光で増やす必要があります。そのための研究も進めています。

(DOWAホールディングス㈱との共同研究)

■ 人工的に進化を速めて、新しい能力を持つコケをつくる

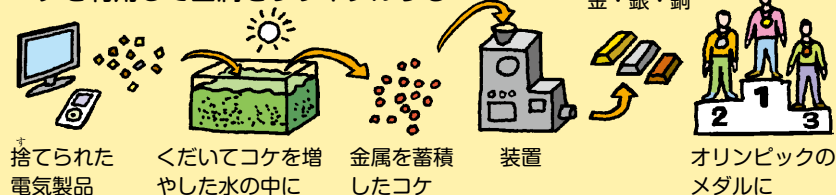
私たちは、人工的に進化を速める理研の技術も利用して、新しい能力を持つ多様なコケをつくり出す実験も進めています。「進化を速めるだって！ そんなSF小説のようなことができるの？」という声が聞こえてきそうですね。できるだけ簡単に説明しましょう。

進化は、遺伝子の情報が書きかわることで起きます。理研には、重イオンビームというウランのような重い物質のビームをつくり出す世界最高性能の装置があります。その重イオンビームをコケに当てると、遺伝子の情報が書かれたDNAという物質がちぎれてしまうことがあります。でも、たいていは元どおりの情報に修理されます。でも、たまに修理をまちがえて遺伝子の情報が書きかわった「突然変異体」が生まれます。実は、そのようなことは私たちの体でも自然に起きていて、太陽光の紫外線などによってDNAがちぎれることがあります。自然に起きていることを、重イオンビームを使ってたくさん起こして、突然変異体をつくるのです。これまでに理研では、新しい色のサクラや、おいしいお酒をつくる新しい酵母をつくり出しています。

私たちもその重イオンビームを使って、ヒョウタンゴケの突然変異体をつくる実験を行いました。そして、リサイクルにとっても役立つ性質を二つ獲得した突然変異体をつくることができました。一つは、大人にならずに原糸体のままでいる性質です。金属をリサイクルするには、原糸体を水の中でたくさん増やしなから、金属を蓄積させていきます。でも大人になると、水の中でたくさん増やせません。この変異体は大人にならないので、原糸体のまま増え続けて、たくさんの金属を蓄積することができます。

もう一つは、水の中でしずんでたまりやすい性質です。水の中でコケに金属を蓄積させたあと、水からコケを分ける必要があります。そのとき、今ま

コケを利用して金属をリサイクルする



では遠心分離器という回転させる装置を使っていました。でもそれには電気代がかかります。しずんでたまりやすいコケならば、その電気代がかからずに、金属をリサイクルすることができます。



さまざまな環境に生えるコケ

■ 銀を蓄積するコケを探す

銅を蓄積するコケはすでに知られています。金・銀・銅の中で、銀を蓄積するコケだけがまだ見つかっていません。

銀をふくむ鉱石の近くで生えているコケを探してみたいと思います。でも、銀を蓄積するコケはなかなか見つからないかもしれません。銀は細菌を殺す薬の成分などとして、私たちの身近な製品にも使われています。さすがのコケも銀は苦手だと思います。そこで、銀を蓄積する突然変異体を、重イオンビームでつくる実験もしてみたいですね。

そして、2020年の東京オリンピック・パラリンピックのメダルの一部には、コケを使ってリサイクルした金・銀・銅を使ってもらいたいと思っています。日本の環境技術を強くアピールできるでしょう。

■ なぜ、コケはそこに生えているのか？

微生物にもさまざまな金属を蓄積する種があります。そして微生物を利用して金属をリサイクルする研究を進めている研究者がたくさんいます。でも、それをコケでやろうとしている研究者は、世界でも私だけです。コケを応用する研究は始まったばかりなのです。

コケの中には、ある葉っぱの表側にしか生えない種もあります。なぜその種がその場所に生えているのか、それにはちゃんと理由があります。私は、そのなぞを解く研究がおもしろくてしかたありません。そして、そのなぞを解くことが、コケの能力を知り、生物の多様な能力を利用して生物多様性を守るにつながります。みなさんも、身の回りのどんな場所にコケが生えているか、探して観察してみてください。

生物多様性を守れますか？

生物多様性を 再生する

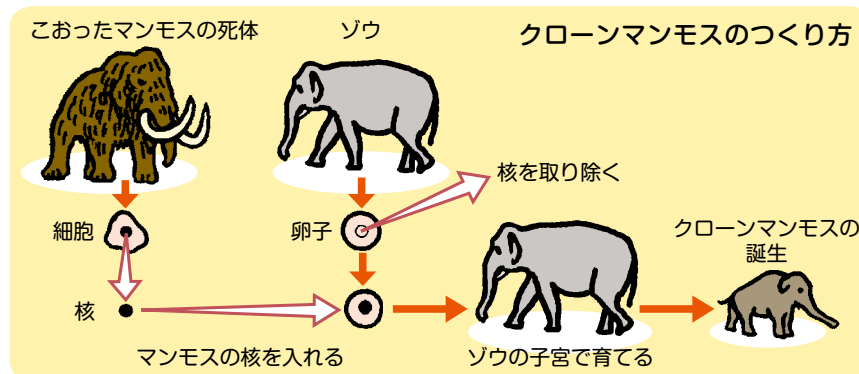
クローン技術で
マンモスを再生させます。

最後に訪ねたのが若山照彦さんです。
若山さんは、マンモスのように
絶滅してしまった動物を再生させて、
生物多様性を守ろうとしています。

わかやまてるひこ
若山照彦 さん

■ こおったマンモスの死体からクローンをつくる

みなさんはマンモスを知っていますか？ 1万年くらい前に絶滅してしまったゾウの仲間です。では、「クローン」という言葉を聞いたことはありますか？ SF小説が好きな人なら知っているかもしれませんね。遺伝子の情報がまった



く同じ生物のことです。私も小学生のころSF小説が大好きで、クローンという言葉を知りました。それで生物に興味を持ち、生物学者になったのです。

私は、そのクローン技術を使ってマンモスを再生させたいと思っています。簡単にその方法を説明しましょう。

シベリアには、マンモスの死体がこおった状態で土にうもれていることがあります。その死体から細胞を、そして、その細胞から遺伝子の情報が納められた「核」を取り出します（左の図）。そもそも動物の体のはじまりは、精子と卵子が結合してできる受精卵です。たった1個の受精卵が、遺伝子の情報に従って次々に分裂して細胞の数を増やし、皮膚や神経、血液などさまざまな種類の細胞になりながら、体を形づくっていきます。

マンモスの仲間のゾウから卵子をもらい、そこにある核を取り除き、代わりにマンモスの死体から取り出した核を入れます。それをゾウの子宮で成長させれば、死体のマンモスとまったく同じ遺伝子の情報を持ったクローンマンモスが生まれます。

実は、体をつくっているさまざまな種類の細胞では、多くの遺伝子がスイッチの入らない状態になっています。皮膚の細胞なのに、神経の細胞だけで必要な遺伝子が働いたら困るからです。ところが、体の細胞から取り出した核を卵子に入れると、すべての遺伝子のスイッチが入る状態になります。卵子には、このように遺伝子の状態を“初期化”する能力があるのです。クローンの技術は、その卵子が持つ自然の能力を利用するものです。

■ できないことをできるようにする

「でも、死体からとってきた細胞の核から生物が生まれるなんて、無理じゃないの？」と、みなさんは思うでしょう。多くの科学者もそう考えていました。しかし私たちは、2008年に、16年間こらせたマウスの死体の細胞から核を取り出して、クローンマウスをつくることに成功したのです。

そもそも、哺乳類では、体の細胞の核を使ってクローンをつくることは無理だと、長い間考えられていました。ところが1996年、イギリスの科学者がヒツジのクローンをつくり出すことに成功し、「ドリー」と名付けました。研究者になったばかりだった私は、その報告を知って、とてもうれしい思いをしました。なぜなら私は、ドリー誕生に使われた技術などを身につけていたの



16年間、こおらせたマウスの死体から生まれたクローンマウス（左）

に、教科書に無理だと書かれていたのでできないと信じこみ、やってみようとしなかったからです。

ドリーが誕生しても、マウスでは体の細胞からクローンをつくることは無理だと考えられていました。ドリーのくやしさを、私はそれに挑戦し、1998年に世界で初めて体の細胞からクローンマウスをつくることに成功しました。その後も私は、“できないことをできるようにする”ことに挑戦し続けてきました。

■ クローンマンモスの難しさ

では、クローンの技術でマンモスを再生させることはできるのでしょうか。クローンをつくるには、死体の細胞から傷がついていない核を取り出す必要があります。それが難しいです。生きている体ならば、細胞は細胞膜に包まれています。薬品などをかけて細胞をばらばらにして、核を取り出すことができます。しかし、死体では細胞の膜がやぶけていたりするので、薬品を使うと、核まで傷ついてしまうのです。

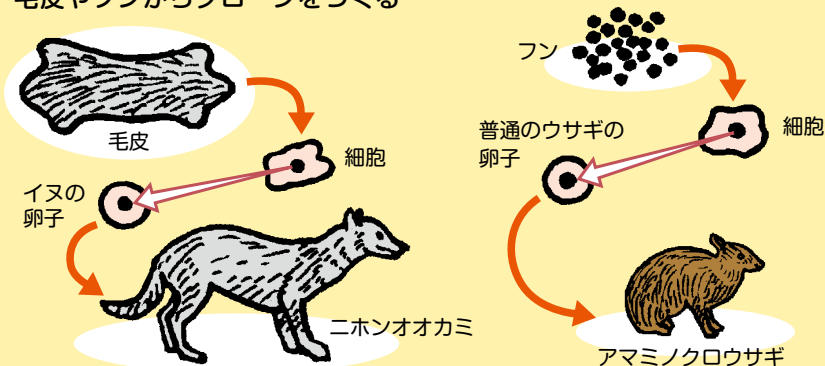
私は、前に近畿大学の人たちが発掘したマンモスの死体の一部を分けてもらい、核を取り出そうとしましたが、うまくいきませんでした。

たとえ核が取り出せたとしても、成功するまでには何回も実験を行う必要があります。私が世界初のクローンマウスをつくるのに、1万匹くらいのマウスに協力してもらいました。そのあと、クローンマウスをつくる技術は大きく発展しましたが、クローンマンモスをつくるには、1000頭くらいのゾウの協力が必要でしょう。核を卵子に入れても、それがクローンの赤ちゃんまで育つのは、100回のうち数回と低い確率です。マウスは受精卵から赤ちゃんが生まれるまで20日ほどなので、失敗してもすぐわかります。一方、ゾウは22ヵ月です。30倍以上長いので、その分、実験に時間がかかってしまいます。

■ 毛皮からニホンオオカミを再生する

1000頭のゾウに協力してもらい、クローンマンモスの実験をすぐに始める

毛皮やフンからクローンをつくる



のは難しいので、私たちはクローンの技術を発展させて、別の絶滅動物を再生させる研究を進めています。

たとえばニホンオオカミです。残念ながら絶滅してしまいましたが、その毛皮は残されています。そこから核を取り出して、オオカミの仲間のイヌの卵子に入れてクローンをつくり、ニホンオオカミを再生させるのです。

その技術を開発するために、マウスの毛皮をつくり、そこから核を取り出してクローンマウスをつくる実験を行っています。核を取り出して卵子に入れるところまでは成功しました。しかし、4日目くらいで成長が止まってしまいます。遺伝子が傷ついているからでしょう。卵子には、小さい傷なら遺伝子を治す能力があります。毛皮の核からクローンをつくる実験を何回もくり返せば、そのうちのいくつかは卵子の力で遺伝子の傷が治り、赤ちゃんにまで成長するかもしれません。もし、卵子で治せないほど遺伝子が傷ついている場合には、傷を治すほかの方法を考えます。

■ フンからアマミノクロウサギを再生する

アマミノクロウサギは数が少なくなり、絶滅が心配されています。クローンの技術を使って、そのような動物の数を増やすための実験も行っています。

数の少ない動物の体を大きく傷つけることはできません。理研バイオリソースセンターの小倉淳郎さんたちは2013年、たった1滴の血液の細胞から核を取り出し、クローンマウスをつくることに成功しました。アマミノクロウサギ

などの動物をつかまえることができれば、1滴だけ血液をとってクローンをつくるができるでしょう。

私たちは、動物をつかまえることができなくても、クローンをつくることをめざしています。「手品みたいな話だな」と思うかもしれませんね。その種明かしはフン。そう、ウンチです。フンにはその動物の腸などの細胞がふくまれています。そこから核を取り出してクローンをつくるのです。

そのために、マウスのフンから細胞を見つけ出す実験を続けてきました。そして、その細胞から核を取り出すことに成功しました。ところが、核がかたくなっていて、そのまま卵子に入れても成長できない状態でした。これからは、その核をやわらかくして卵子に入れる実験をやってみるつもりです。まだ世界でだれもやったことのない実験です。そういう実験をするのが楽しいのです。

■ 宇宙版ノアの方舟

みなさんは、「ノアの方舟」を知っていますか。洪水が来る前にたくさんの種類の動物を舟に乗せて助けたという、聖書の話です。大災害から生物多様性を守ったのです。実際に地球では、過去に何度か多くの種類の生物がとどえてしまった大量絶滅が起きました。たとえば約6500万年前、大きな隕石が地球に衝突して、恐竜をはじめたくさんの生物が絶滅したと考えられています。

これからも、そのような大量絶滅が起きる可能性があります。隕石衝突などから避難できる場所は、地球上にはありません。そこで、宇宙に避難させる「宇宙版ノアの方舟」が実現できないか、と私は考えています。さまざまな種の卵子や精子を月の地下などに保存するのです。

実は今、国際宇宙ステーションを使って、宇宙版ノアの方舟につながるような実験を進めています。2013年8月、私たちが乾燥させてこおらせたマウスの精子を、国際宇宙ステーションへ運んでもらいました。その精子は3回に分けて地球にもどってきます。まず第1弾は2014年の前半にもどる予定です。さらに打ち上げから1年後、2年後にももどってきます。それらの精子を卵子に入れて受精卵にし、きちんと赤ちゃんが生まれるかどうか確かめます。

1998年に私は、地上の実験ではありますが、乾燥させてこおらせたマウスの精子を卵子に入れて、赤ちゃんを誕生させることに成功しています。しかし宇宙では、宇宙線というエネルギーの高い粒子が飛び交っていて、遺伝子を

傷つけてしまうことがあります。そのような宇宙で保存した精子でも、子どもができるかどうか確かめるのです。

私は、国際宇宙ステーションを使った次の実験をJAXA（宇宙航空研究開発機構）の人と相談しています。重力のとても小さい宇宙で、哺乳類の受精卵がきちんと成長するかどうか確かめる実験です。すでにメダカやイモリの実験はありますが、哺乳類ではだれもやったことがありません。

でも、その実験には特殊な技術が必要なので、宇宙飛行士にはたのめません。そこで、「私を宇宙に連れていってください」とJAXAの人をお願いしたのですが、断られました。残念！ 実は、私は宇宙飛行士になるのが昔からの夢で、試験を受けたこともあるのです。落ちてしまいましたが。

しょうがないので、実験の大部分を自動で行える装置をつくっています。その装置でマウスの受精卵を4～5日間育てます。それをこもらせて地上に持ち帰ってもらい、遺伝子の働きに異常がないかどうかを調べます。

すでに私たちは、無重力状態をほぼ再現する地上の装置で、マウスの受精卵を育てる実験を行いました。すると、赤ちゃんとお母さんを結ぶ胎盤に異常がありました。胎盤は、お母さんの子宮の中で子どもが育つところで、哺乳類だけのものです。

もしかしたら、地球のさまざまな生物の中で、哺乳類だけは重力のある地球でしか子どもを残せないのかもしれませんが。本当にそうなのか確かめる実験を、ぜひ国際宇宙ステーションでやってみたいのです。

■ 未来の技術で生物多様性を守る

2001年から、私は理研で研究を進めてきました。そして2013年4月、山梨大学に実験室をつくり研究を進めています。理研との研究は続けますが、これからは主に山梨大学の若い学生たちと研究を行う予定です。とても楽しみです。

子どものころSF小説が大好きだったという話をしましたね。今、クローンや宇宙版ノアの方舟の研究をしているのも、その影響かもしれません。みなさんもSF小説を読んで、夢のような技術を見つけて、それに挑戦してみてもどうでしょう。“できないことをできるようにする”ことは大変ですが、楽しく、やりがいがあります。そして、そのような未来の技術をつくることで、地球の環境と生物の多様性を守る取り組みに参加してほしいと思います。

理研の 環境負荷の全体像と 低減への取り組み

INPUT

⚡ エネルギー投入量

● 電気	599,465千kWh
(内訳)	
買電	476,052千kWh
発電	61,706千kWh
コージェネレーション	
発電	61,253千kWh
太陽光発電	453千kWh
● 都市ガス	30,608千m ³
● 灯油	1kℓ
● A重油	11kℓ
● 軽油	34kℓ
● 蒸気など	39,488GJ

💧 水資源投入量

● 上水道使用量	731千m ³
● 井戸・工水使用量	792千m ³

環境負荷低減への 取り組み

🏠 大気汚染防止

施設からの排気を法律に基づいて定期的に測定し、大気汚染物質の管理徹底に努めています。

💧 排水管理

研究活動には水が欠かせません。貴重な水資源を、適切な水質管理やリサイクルによって無駄なく使用しています。

☢️ 放射線管理

研究によっては放射性物質や放射線発生装置を扱うこともあります。放射線測定モニターを設置するなど、常に放射線環境を監視して安全を確保しています。

🌞 温暖化防止

地球温暖化の原因となる二酸化炭素を少しでも減らそうと、省エネ創エネ活動に全力で取り組んでいます。

🗑️ 廃棄物削減

廃棄物の分別を徹底し、適正な処理を行うとともに、リサイクル可能なものは再資源化に努めています。

📄 化学物質管理

働く職員だけでなく、地域住民のみならずの安全を確保するため、研究に欠かせない化学物質の適正な管理に努めています。

🌱 グリーン購入

中長期的な観点に立ち、環境によい製品を選択しています。

OUTPUT

💧 排水量

● 下水道使用量	815千m ³
----------	--------------------

🏠 大気放出

● 二酸化炭素	287,987t
---------	----------

📄 化学物質排出移動量

〈PRTR法関連物質〉

● クロロホルム	5,200kg
● 塩化メチレン	3,600kg
● ノルマルヘキサン	6,500kg
(和光事業所のみ)	

🗑️ 廃棄物量

● 一般廃棄物	582.7t
● 産業廃棄物	433.8t

うちリサイクル量
238.2t

● 研究系廃棄物	714.4t
● 放射性廃棄物	41.1ℓ

『環境報告書2013』別冊

未来の環境を受け取る子どもたちから
理研の博士3人への質問

生物多様性を 守れますか？

● 発行

独立行政法人 理化学研究所
和光事業所研究支援部総務課

〒351-0198 埼玉県和光市広沢2-1

電話／048-462-1111（代表）

Eメール／eco-jimu@riken.jp

● 取材協力

大熊盛也 室長

バイオリソースセンター 微生物材料開発室

井藤賀 操 上級研究員

環境資源科学研究センター 生産機能研究グループ

若山照彦 客員研究員

発生・再生科学総合研究センター

（山梨大学 生命環境学部生命工学科 教授）

● 構成・文：立山 晃（フォトンクリエイト）

● イラスト・デザイン：岩崎邦好デザイン事務所



環境報告書2013

<http://www.riken.jp/kankyohokokusho/2013/>