

理工学部 バイオサイエンス学科

Department of BIOSCIENCES

病気の治療や予防、食糧不足や環境汚染の改善など、21世紀が抱えるさまざまな問題を解決するには、バイオテクノロジーが大きな鍵となると考えられています。

各方面から注目を浴びている、14名の先生を紹介します。



梶谷 正行 教授

挑戦！
トマトを食べる感染予防



内田 健一 教授

地道な積み重ねが
成果を生み出す



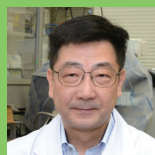
内野 茂夫 教授

“神経ネットワーク”が
個性をつくる



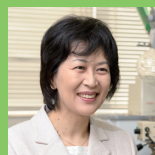
古賀 仁一郎 教授

誰も知らない「セラミド」の
秘密を解明したい



作田 庄平 教授

カビ毒から地球と
人類を救うために



篠村 知子 教授

企業で育った基礎研究者



柳原 尚久 教授

最新技術で
リサイクルの道を拓く



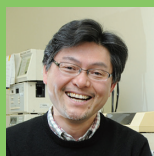
朝比奈 雅志 准教授

実験も勉強も楽しい！



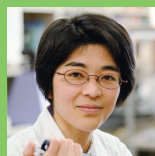
榎元 廣文 准教授

病気を治せる食品を探せ



高橋 宣治 准教授

植物体内に潜む微生物から
探す、未知の化合物



高山 優子 准教授

研究は、楽しくなければ！



平澤 孝枝 准教授

脳とストレスと遺伝子の
関係を解き明かす



吉成 宏巳 准教授

工学の道から
医療の発展に貢献する



宮本 皓司 講師

植物の生きる力を
解き明かす





挑戦！ トマトを食べて感染症予防

注射嫌いの人へ。

予防接種の注射を受ける代わりにトマトを食べる。

それだけで注射を受けずにすむなら、どんなにいいだろう。

梶谷先生は、それを実現させようと研究に励んでいる。



研究室で培養している
トマトの苗。

梶谷 正行 かじたに まさゆき

1978年、大阪大学理学部生物学科卒業。1983年、京都大学大学院理学研究科生物物理学専攻単位取得退学後、理学博士。

東レ(株)基礎研究所勤務を経て、1991年より帝京大学理工学部にて勤務。

助手、講師、准教授を経て、2008年より現職。

研究テーマ：RNA合成の分子生物学、食べるワクチン、実感する理科実験開発

キーワード：分子遺伝学、遺伝子工学、理科教育

ワクチンと予防接種

高熱やけいれんなどを引き起こす日本脳炎や、高熱や筋肉痛とともに鼻水、のどの痛みなど風邪のような症状が出るインフルエンザ。これらを予防するために、予防接種の注射を学校や病院で受けることがある。その注射器の中身は、病原性を弱めた病原体や、病原体のうち免疫系が反応する一部分だけを取り出した「ワクチン」というものだ。これをあらかじめ体内に入れて免疫力をつけ、いざウイルスや病原菌などに感染したときに、発症を抑えたり、仮に発症してもその症状を軽くしたりする。

しかし、注射による予防接種は、注射器などの器具や冷蔵での長距離輸送にコストがかかること、発展途上国などにおいて本来は使い捨てにするべき注射針が再利用され、注射を通して感染症が移るケースがあり問題となっている。そこで考えられたのが「食べるワクチン」だ。野菜やくだものなどの植物体内にワクチンをつくらせれば、それを食べるだけで予防注射を受けずにすむ。また、使用する地域で生産すれば、輸送のコストもかからない。画期的なテクノロジーだ。

ワクチンをつくるトマト

感染すると激しい下痢を引き起こし、特に冬場の集団食中毒の原因としても話題になったノロウイルス。梶谷先生が目指しているのは、このノロウイルスに対するワクチンをトマトにつくらせることだ。もちろん、トマトはもともとワクチンをつくり出す能力を持ち合わせてはいない。そこで活躍するのが遺伝子組換え技術。遺伝子組換えとは、生物の設計図であるDNAに、他の生物のDNAのうち特定の性質を担う「遺伝子」の部分を入れてやり、もとの生物に新しい性質を持たせること。

ノロウイルスは、ヒトに特異的に感染するウイルスで、コートタンパク質でできた正二十面体の殻のような構造

を持っている。口からからだに入って、腸管の細胞から感染するのが特徴のひとつ。遺伝子組換えによりノロウイルスのコートタンパク質の遺伝子を植物など他の生物に入れたら、その細胞内でコートタンパク質が大量につくられる。そのタンパク質は自己集合し、感染性のない中身が空っぽの殻粒子を形成する。それを食べると、感染時のように腸管で免疫反応が起こるため、ワクチンとしての働きが期待できるのだ。

遺伝子組換え実験を行ったところ、狙った通りトマトにウイルスのタンパク質をつくらせることはできた。だが、食べる果実の部分では量が少なかったり、食べられない葉の部分にだけ多くつくられたりしていた。そこで、現在は、葉を食べる野菜に研究の幅を広げ、レタスを使った研究にもチャレンジしている。また、トマト果実で特異的に発現する系の開発にも改めて取り組んでいる。

日本では、まだ遺伝子組換え作物に厳しい規制があるため、でき上がったトマトやレタスを食べて効果が出るころまで研究を進めるのは難しいだろう。しかし、植物がウイルスのタンパク質をつくること、それがワクチンとして効果があるということを示すことができれば「日本でトップになれる」。そう話す梶谷先生の顔は、高い意欲に満ちていた。

とにかく実験、そこで得られるもの

植物の遺伝子組換えには、もともと植物に感染することのできる「アグロバクテリウム」という病原性微生物がよく使われる。植物に入れたい遺伝子を、アグロバクテリウムのDNAに入れ、そして植物に感染させることにより、遺伝子が植物体内へと運ばれるのだ。

研究室の学生は、ひたすら手を動かして実験を行う。アグロバクテリウムの入った液に植物の葉を浸して感染させる。その葉を寒天培地の上で培養して植物体を再

生させ、ウイルスのコートタンパク質がつくられているか調べる。タンパク質をつくらせている植物を大きく育てて種子をとる。種子をまき、ウイルスのタンパク質を多くつくっているものを探る。これらの作業を、トマトとレタスについて手分けして行っているのだ。ところが、遺伝子組換えは百発百中ではない。何十回、何百回と実験を行っても、目的の遺伝子を植物に入れることができないこともある。また、遺伝子組換えが成功しても、その植物が大きくなるまで培養するのに長い期間がかかり、せっかく実験を行っても結果を見ることができずに卒業を迎えてしまう学生も少なくない。しかし、実験で得たスキルや研究で感じたおもしろさは、一生忘れられない宝ものになっていくのだ。

実験を楽しむ場

昭和40年代半ば、全国の高校に理数科が広がり始めた頃に高校時代を過ごした梶谷先生。籍を置いていた理数科では、2コマ連続で理科の実験という日もあったという。生物部などでは行われることのある「ショウジョウバエの交配」実験を高校1年生の生物の授業で行うなど、充実した楽しい時間を過ごしていた。だから、高校の授業ではほとんど実験を行うことがないという現在の話を聞いて唖然とした。実験は楽しいもの。それを知らない学生がなんて多いのだろう。

そこで、梶谷先生は学園祭で中・高校生をはじめとした来校者に向けて実験講座を行うようになった。「理科が大好きな子どもをもっと増やすために、実験講座を可能な限りやってみよう」。梶谷先生の実験講座は、学園祭以外にもオープンキャンパスや「出前授業」などで行われている。これに参加すれば、理科実験をもっとやってみたくはならない。実験好きな梶谷先生の手にかかれば、「理科離れ」なんて言われなくなる日は近いだろう。



地道な積み重ねが 成果を生み出す

学問分野が急速に発展していく最中、
教授も学生も、誰もが必死に勉強していた。
そのときのことを「すごくおもしろかった」と語る内田先生は、
分子のかたちを探る研究をしながら、常に学生の成長を考え続けている。

内田 健一 うちだ けんいち

1984年、東京都立大学理学部化学科卒業。
1986年、同大学大学院理学研究科化学専攻修士課程修了後、富士レビオ(株)に入社。
1987年に同社を退職し、東京都立大学大学院理学研究科化学専攻博士課程に入学後、
1989年に中途退学し、帝京大学理工学部勤務。博士(理学)。

研究テーマ：生体関連物質の有機合成化学的研究およびNMRによる構造解析
キーワード：有機化学、合成化学、天然物化学、NMR、構造解析

分子のかたちに惹かれて

小学校のときから化学が好きだったという内田先生。親戚の引越しを手伝いに行ったとき、たまたま見つけた高校化学の参考書に載っていたベンゼンの構造式を見たのがきっかけだった。均整の取れたかたちが妙に気に入って、家に帰ってから自分で六角形を描いて遊ぶほど。中学生になって化学という学問分野を知り、その頃から大学の化学科に行くことを夢にしていたという。

「バランスの取れた正四面体とか六角形とか、均整が取れたかたちは非常に好きですね」。そう笑顔で話す内田先生は、アミノ酸が複数個つながった物質である「ペプチド」の構造を解析して、タンパク質やDNAなど他の分子とのどのように作用し合うのかを調べている。「DNAは二重らせんのかたちがあるし、タンパク質には α -ヘリックスとか β -シートとかいうかたちがありますよね。そういうものに惹かれてくるのかもしれないです。分子のかたちに心惹かれて化学の道を歩み始めた少年の心は、数十年経った今でも変わっていない。

化学でせまる、分子の相互作用

東京都立大学で過ごした学生時代から、研究のテーマはタンパク質の構造と機能の関係だ。生命現象を担うさまざまな反応は、分子の運動や、分子同士の相互作用によって引き起こされている。たとえば、食べ物の消化にも関わる、タンパク質加水分解酵素。普通のタンパク質は、酵素の活性部位の奥深くに結合し、そこでアミノ酸の鎖が切られることで分解される。しかし中には、活性部位の浅いところにくっついたまま、切られることも離れることもなく、酵素の動きを止

めてしまうタンパク質もある。「非常に特定の部分を認識しているんです。もうちょっと活性部位の中に入ると切られるんだけど、微妙なところで止まる」。同様の動きをするタンパク質はたくさんあるが、共通した構造はわかっていない。それを調べ、どういうものが分解され、どういうものが分解されないのかを知ること、酵素活性のしくみにも迫ることができるのだ。

生物由来の分子を扱いながらも、「あまり生物学的な視点には興味がないんです」という内田先生は、扱う実験手法も化学分野で生まれたものだ。分子のかたちを詳しく調べることによって、それが引き起こす動きや相互作用を知ろうとしている。原子核に対して磁場をかけると、その原子核は一定周期の運動を始める。それに対してさらに同じ周期で回転する磁場をかけると、磁場と原子核との間に共鳴が起こる。原子の化学結合の状態によって原子核が起こす運動の周期は変わるため、それと共鳴する磁場の回転周期を調べることで、化学結合、すなわち分子のかたちが分かるのだ。核磁気共鳴分光法(NMR)と呼ばれるその方法は、内田先生が研究を行うのとちょうど同じ時期に、世界中で改良が重ねられ、進歩してきた。

学問の最先端が目の前に

「NMR討論会っていうのがあるんですけど、そこが、壇上から演者が降りられないほど質問と議論が続くすごい学会だったんです」。トップクラスの研究者たちが、時間を忘れて侃々諤々かんかんがくがくと議論をする、熱い場所。「学問の分野が急成長していく時代の熱気というか雰囲気を知っていると、すごくおもしろいですよ。勉強するのが苦にならない」。どんどん新しい発見が出てきて、自分の考え方が合っていたときもあるし、全然違っ

ていた場合もある。過去の常識や経験がないから、学生でも、助手でも、教授と同じレベルで議論ができる。最先端がどんどん進んでいくから、追いつくためにみんなが必死に勉強をする。「非常によい時代に巡り会ったと思います。今はそういう新しいものがないかもしれませんね。でも、きっと出てくると思いますよ」。今の学生にも、当時あったような熱い空気に触れる機会が訪れるのではないかと。内田先生の言葉からは、そんな期待がうかがえる。

自分だけの山を登る

新しい学問分野の出現を期待しながら、一方で戸惑いを感じていることもある。「今は、それ何の役に立つんですかって、よく聞かれるんですよ」。産業や技術に直結する研究を求め、基礎的な研究に対する興味が薄い学生が増えているのだという。「山登りって、頂上まで登らないと、その景色は分からないですよ。でも頂上へ行くためには無口になって上らなきゃいけないわけですよ」。研究も同じで、地道な実験の積み重ねの上に、はじめて成果が現れてくるのだ。その中で、自分のアイデアを出して、実験の先を予想しながら進めていくようになってほしいと、内田先生は言う。自分自身が感じてきた研究のおもしろさを少しでも学生に伝えたくて、積み重ねの大切さを何度もくり返して説いている。「まじめにコツコツやる学生が卒業論文を出す段階になると、何人かにひとりはずっと気がままですよ。そういうことだったんですか、もうちょっと早くわかっていればもっとやったんですけど。ただ最後に気づいてくれれば、それだけでもいいんじゃないですかね」。苦笑しながらそう話す先生は、常に学生の成長を望みながら、今日も研究を続けている。



“神経ネットワーク”が個性をつくる

脳は、個性的だ。首から下の臓器は、誰でも同じ働きをするようにできている。しかし、脳はその働きによって、趣味の違い、好みの違い、思考の違いなどさまざまな個性を生み出している。

内野先生は、頭の中で起こるたくさんの不思議を話してくれた。



内野 茂夫 うちの しげお

1989年、東京大学大学院農学系研究科応用生命工学専攻修士課程修了。三菱化学、国立精神・神経医療研究センターを経て、2013年より現職。医学博士。

研究テーマ：脳発達の分子基盤および発達障害の病因・神経病態の解明

キーワード：ニューロン・グリア機能相関、神経・免疫連関、自閉スペクトラム症、病態モデルマウス

先生との出会いに導かれて

内野先生が脳の不思議を研究するようになるターニングポイントには、必ず先生との出会いがあった。

高校生の頃は物理が好きで、ブラックホールなどの宇宙物理に興味があった。植物を育てることも好きだった。遺伝子工学にも、コンピューターにも興味があった。受験のときにも、どれかひとつに絞ることができず、入学後に専門を決められる大学を選んだ。大学入学後、半年ほどずっと物理の本を読んで過ごしていたが、ある日友人に誘われてバイオテクノロジーをテーマにしたセミナーに参加したところ、先生の話がとてもおもしろく、そこで聞いた農芸化学という分野に強い関心を持つようになった。結局、その先生との出会いがきっかけとなり、物理からバイオへと大きく方向転換。4年生になるとこの先生の研究室に入り、酵母の研究に取り組んだ。

ところが、研究を進めていく中でさらなる興味の芽が生まれてきた。この「バイオテクノロジー」というものが、社会の中でどう応用されるのかを見てみたいと感じるようになったのだ。そして、「企業なら、絶対にバイオの応用研究をしている。次に自分が進むのはここだ」と、三菱化成の門をたたいた。

入社後、いくつめかのプロジェクトで、記憶のメカニズムをテーマに神経伝達、神経回路の研究をしている先生と出会った。これがきっかけとなり、内野先生は現在まで神経回路の研究を行っている。

脳には不思議な現象が詰まっている

「脳は粘土によく似ているところがあります」と内野先生は話す。粘土は、力を加えられていったんかたちが変わると、そのかたちをそのまま保持する。そして、

その後も変形自在で、加えられた力をかたちの変化として蓄積していく。脳も同様に、さまざまな経験が記憶として刻まれ、それがひとりひとりの個性をついているのだ。

発達障害のひとつである自閉症スペクトラム障害の患者さんは、周りの人とうまくコミュニケーションがとれず、独自の世界に入ってしまう。一方で、興味があることには天才的な能力を発揮する。非常に不思議なのは、脳の細胞に異常は見られないのに、こういった症状（個性）が出るというところだ。他の臓器と同じように細胞が集まってできているにもかかわらず、なぜ脳だけがこのような不思議な個性を持っているのだろうか。それは、脳においては細胞同士がつながり、絡み合い、神経回路という複雑なネットワークを構築しているためだ。内野先生は、この神経ネットワークがどのようにつくられどのように個性を生み出していくのかに興味をもち、神経ネットワークがつけられるときに重要な役割を果たす“Shank3”という分子を調べた。しかし、研究を進めていくうちに、この研究は細胞内のある分子の機能を調べるだけであり、最初に疑問に思っていた「脳がもつ不思議な個性」とは程遠い研究と感じるようになっていった。

脳の病気として、先天的に“Shank3”の量が通常の人より少ないPhelan-McDermid症候群というものがある。この患者さんには、脳が通常より少し大きくなる、言葉が出てこない、自閉的になるといった共通の症状が見られる。そこで、内野先生は、これまでの研究と発想を変え、類似症状を持つ発達障害の患者さんのゲノム解析からShank3遺伝子を調べてみた。すると、約10%の人に“Shank3”の異常があることがわかったのだ。さらに、最近

“Shank3”の遺伝子を人工的になくしたマウスは、自閉症スペクトラム障害の患者さんと類似したさまざまな症状を出すことがわかった。そこで、内野先生は、最新のバイオ技術を使って、任意の神経ネットワークのみで“Shank3”をなくすことができる新しい遺伝子改変マウスを開発した。このマウスを駆使することで、マウスのさまざまな行動を規定する神経ネットワークの解明が可能になる。「脳がもつ不思議な個性」への挑戦が始まった。

脳が完成する前にぜひやってほしい

現代の日本では、20歳で成人と認められるが、奈良時代には12歳前後に「元服」と呼ばれる成人式が行われていた。12歳からは大人として扱われたのだ。実は、この年齢設定は非常に興味深い。脳は、12歳頃にかたちができ上がり、成熟期間を経て20歳前後に完成する。「つまり、高校生、大学生の時期は脳が育成されるとも大切な時期です。この期間にたくさん勉強したり、いろいろな経験をしたりして、脳に“個性”を刻んでいってほしいですね」。内野先生も、この期間にさまざまな先生と出会い、たくさんのお話を吸収することによって、自分がおもしろいと感じること、やりたいことを見つけていったのだ。大学の学生にも、そんな大切な期間だからこそ、脳のおもしろさ、不思議さを伝えていきたいと考えている。

誰も知らない「セラミド」の秘密を解明したい

学生のときに動物栄養学の研究をしていた古賀先生が植物の研究を行うようになったのは、植物の研究者である親しい友人の影響だった。

「自分もそんなふうに、研究や授業を通して、若い人の人生のターニングポイントを与えるきっかけをつくれれば」と話す。



古賀 仁一郎 こが じんいちろう

1985年に東京大学農学部農芸化学科卒業後、明治製菓(株)に入社。

2009年、同社 食料健康総合研究所 機能研究センター長、2011年、(株)明治 食機能科学研究所 機能性評価研究二部長を経て、2012年11月より現職。理学博士。

研究テーマ：スフィンゴ脂質やカカオプロテインの機能に関する研究
キーワード：スフィンゴ脂質、カカオプロテイン

イネの免疫力を高めるカギ

古賀先生が目目しているのは、スフィンゴシンに脂肪酸が結合した「セラミド」という化合物。セラミドにグルコースが結合した「グルコシルセラミド」など類似の化合物もまとめて、一般的に「セラミド」と呼ばれることが多い。ヒトの皮膚にも存在しており、化粧品の成分としても知られる物質だ。

古賀先生がセラミドに出会ったのは、新潟県にあった植物防御システム研究所でイネの「いもち病」について研究をしているときだった。いもち病とは、糸状菌(カビ)が引き起こす空気感染性の病害。実がならなくなり、減収などの被害に直結する。農薬の散布によりいもち病菌を抑えることもできるが、耐性菌が出る、土壌に残って環境汚染につながるなどの課題がある。そこで、イネ自身が持つ、病原菌からからだを守るしくみ「免疫力」を高めようと研究をスタートさせた。

動物と同じく植物にも、からだの中に入ってきた病原菌を認識し、自分自身を守る機構が備わっている。いもち病菌を構成するいくつかの成分のうち、どの物質を認識しているのだろうか。それを調べた結果たどり着いたのが「グルコシルセラミド」だった。イネは、いもち病菌のセラミド成分を認識して免疫力を高めていることがわかったのだ。セラミドは、動物のからだの中では重要な役割を担う物質であることが知られており、たとえばその作用のひとつとして、管理・調節された細胞の自殺「アポトーシス」を促す。しかし、当時植物ではセラミドの生理的作用はまったく知られていなかった。1998年に発表した古賀先生のこの発見は、セラミドの植物体内での生理作用を明らかにした最初の報告となった。

セラミドの新たな可能性を求めて

植物についての研究で興味を持った「セラミド」。古賀先生がこれから研究していこうと考えているのは、動物での働きだ。「ヒトでの美容やがん予防という観点からセラミドの作用メカニズムを明らかにしたうえで、動物と植物での作用の共通点を明らかにして、セラミドの本質的な機能を解明したいです」。

たとえば、ヒトを対象にした臨床試験において、「セラミドを食べると、少ない量で肌のうるおいに効果がある」という報告がある。化粧品などのように外側に塗ることによって補ったセラミドが物理的にバリア機能を果たすのではなく、からだの内側で何らかの働きをしていることを示す結果だ。また、動物を用いた実験で、「セラミドを食べると大腸がんが抑制される」という報告もある。しかし、そういった現象としての効果はわかっているものの、そのメカニズムは未だ解明されていない。からだの中で、セラミドを見分けるアンテナに相当する分子が見つかっていなければならぬ。古賀先生は、セラミドが動物のからだの中でどのように働くことで効果につながっているのかを明らかにしていきたいと考えている。

サイエンスは、自然がつくり出したルールの下での自然現象の解明

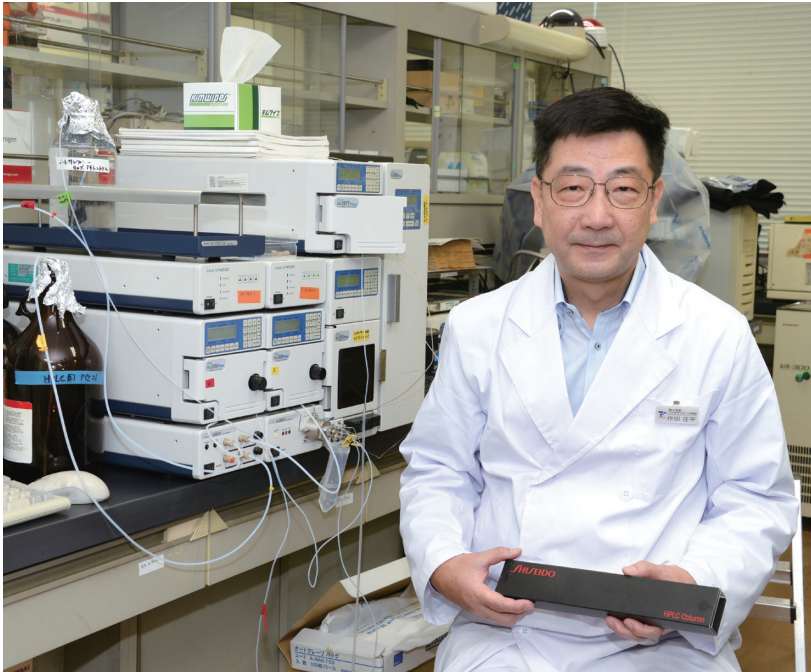
「学生にも、サイエンスのおもしろさを早く知ってほしい」と、古賀先生は、はやる気持ちを抑えきれない。「政治、経済、スポーツ、ゲーム……これらは、人がつくったルールの下で行われていること。でも、サイエンスだけは違う。人ではない、壮大なスケールの自然がつくり出したルールの下で、自然現象を解明していくことなのです」と話に熱がこもる。

それと同時に、「恐ろしさ」も感じている。「優秀な人でも解明できないことがある。大きな発見だって、偶然遭遇しただけのこと。それくらい、サイエンスは純粋かつ受動的なもので、自分で何でもできると思った瞬間にそっぽを向かれて何もできなくなる」。その恐ろしさを知っていてもなお研究に打ち込めるのは、「それを解明したい」という情熱があるから。そして、その情熱を持ち続けられるのは、サイエンスのおもしろさを十分に知っているからだろう。

実験をして、自分の予想とまったく反対の結果が出たときに最も興奮する、と話す古賀先生。「他の人とまったく違うことを考えることって、とても難しいと思うんです。自分と同じ予想を、きっと他にもしている人がいる。だから、自分の予想とまったく逆ということは、他の人が誰も考えていないことである可能性が高いでしょう」。そんなとき、サイエンスが、人間の考えが及ばないものを隠し持っていることが垣間見えて、心が躍る。古賀先生は、まだ誰も知らない世界の法則に、ただ純粋に向き合っている。

カビ毒から地球と人類を救うために

とうもろこし、落花生、ナッツ類、ゴマ、米…。
これらの農作物に共通している深刻な被害。それは「カビ毒」だ。
全世界の規模で考えると、天文学的な数字に上るほど。
それをくい止めるべく、先生が始めた研究は実用化まであと一息の段階だ。



作田 庄平 さくだしろうへい

1982年、東京大学農学部農芸化学科卒業。
1984年、同大学大学院農学系研究科農芸化学専門課程修士課程を修了し、1988年、博士号(農学)取得。
大阪大学助手(工学部醸造工学科)、東京大学農学部助教授(応用生命化学専攻)、同大学大学院農学生命科学研究所助教授・准教授(応用生命化学専攻)を経て、2018年4月より現職。

研究テーマ: 微生物、植物等の生理活性物質に関する研究
キーワード: 生理活性物質、キチナーゼ、マイコトキシン、アフラトキシン

土の中で起きているメカニズム

「キチン」という物質の名を聞いたことがあるだろうか。カニやエビの甲羅の主成分でグルコサミンの原料となることから、中高年向けのサプリメントや健康食品などのCMでクローズアップされていたりする。ここではその効能についての詳細は省くが、キチンは甲殻類だけでなく、昆虫の外殻やカビの細胞壁を構成している物質だ。

ところが、キチンは比較的分解されにくい。また、動物はこれを消化することはできない。では、昆虫などの死骸はずっと残っているだろうか。もちろん、野鳥がついばむだろうし、ねずみが食べてしまうこともある。しかし消化されないなら、フンの中に出されて、地表は殻だらけになるのではないだろうか。

実はそうならないメカニズムが、土の中に隠されていたのだ。それが放線菌とよばれる微生物。代表的なものとしては、抗生物質のストレプトマイシンの語源ともなっているストレプトマイセス属放線菌がいる。これらがキチンを分解する酵素のキチナーゼを生産する。それによって昆虫の外殻は跡形も無くなるのである。

カビ毒による被害をくい止めるために

作田先生が取り組んでいるのは、微生物や植物などの生理活性物質に関する研究だ。といってもキチンとどう関係しているのか、わかりにくいだろう。

先に軽く触れたが、カビの細胞壁を構成しているのがキチンだ。農業の分野では、カビ毒による被害が思いのほか多い。カビ毒はマイコトキシンと呼ばれ、それに侵された食品を口にした場合、急性・慢性的毒性があったり、発がん性などのリスクがあることが知られている。中でも先生の専門は「アフラトキシン」だ。

「このカビ毒は、強い発がん性物質で、食べると肝臓障害や肝臓がんを引き起こします。しかも飼料中にアフラトキシンが含まれていると、それを食べた牛を経由して、牛乳にもアフラトキシンが含まれてしまいます。既知の天然物質中で最も強い発がん性や急性毒性を有していますし、加熱などの通常の調理方法では分解されません」とその恐ろしさを先生は語る。

「健康被害を防止するために、アフラトキシンの農作物汚染の規制値は10 ppbと低く設けられていますが、汚染された農作物の破棄による損害額は、アメリカでは年間数億から1000億円。アジア・アフリカでは合わせて年間1000億円以上に上ると推定されています」。中国ではマイコトキシンによる損害額の統計が、1兆5000億円ともいわれる。それを憂慮して、先生は放線菌によってアフラトキシンへの対策をできないものかと研究を続けてきた。そこで先生が見出した物質が「アロサミジン」と「アフラスタチン」だ。

アロサミジンやアフラスタチンは、放線菌の生産する二次代謝産物。生物が生み出す代謝産物の中で、糖、アミノ酸、脂質、核酸といった大半の生物の生命活動に必要な物質を一次代謝産物と呼び、必ずしも生命活動に必須ではない独特な物質を二次代謝産物と呼ぶ。ちなみにアオカビから発見された抗生物質のペニシリンは、二次代謝産物の代表的なものだ。

先生の研究が世界の食糧危機を救う

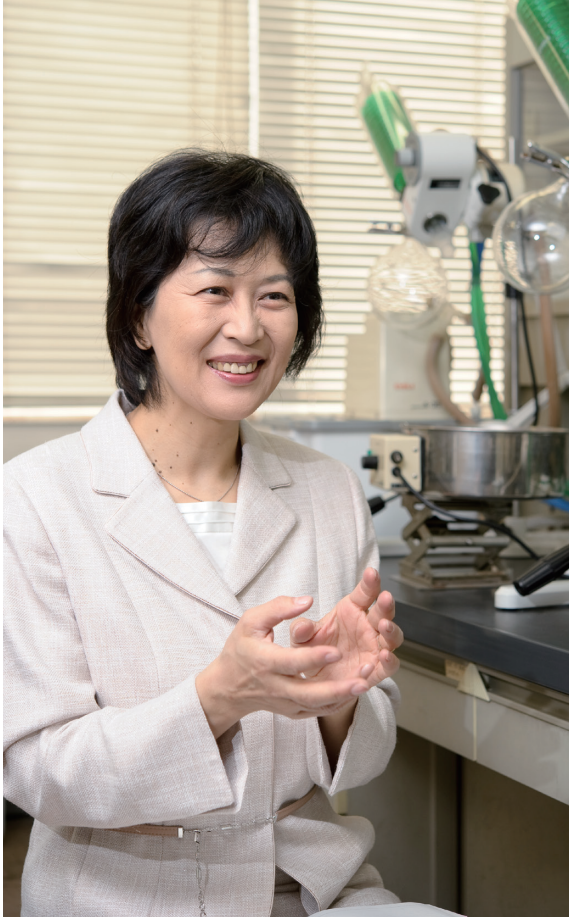
話を戻そう。アロサミジン自体はキチナーゼの阻害物質として最初に見出された化合物なのだが、二つの作用が明らかになっている。その一つが、喘息の症状を緩和する効果。そしてもう一つは、冒頭で触れた放線菌のキチナーゼ生産を促す効果で、これは先生の

研究によって明らかになった。喘息に関してだが、実は人間の体内にもキチナーゼが存在しており、それに作用して喘息に対する効果が得られるようだ。そして放線菌のキチナーゼの生産促進作用だが、「アロサミジンは阻害物質なのになぜ？」と思われた方も多いのではないだろうか。驚くべきことに、ある一定の量までのアロサミジンであれば、キチナーゼの生産が増えるという実験結果があるのだ。

「環境中の放線菌もアロサミジンを生成していて、環境中でのキチンの代謝をコントロールしているということが考えられます。放線菌を畑にまくと作物の生育がよくなります。放線菌のアロサミジンが、放線菌自体のキチナーゼだけでなく、植物自体のキチナーゼ生産も促進し、植物病原菌への抵抗性が増す可能性も考えられます」。

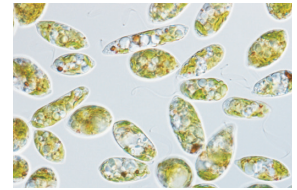
いわば、自然のサイクルに基づき植物を強くするわけで、安全性の高さはいままでのない。

この他にも、アフラトキシンの生産を抑制するアフラスタチンなどの化合物や微生物に関する実証実験も進められており、かなりの好結果が得られているとのこと。実用化される日もそれほど遠いことではなさそうだ。先生は地球全体の食糧事情を大きく好転させるカギを握っている。



企業で育った基礎研究者

研究は、好奇心に突き動かされて生命現象の原理を追う基礎研究と、社会に役立つ技術化を目指す応用研究の2つに大きく分けられる。26年間、企業で経験を積んできた基礎研究と応用研究、両方の経験と人脈を活用し、「学生ひとりひとりの個性にあった研究を、一緒にしていきたい」と篠村先生は言う。



篠村先生が研究対象としている微細藻類。

篠村 知子 しのみら ともこ

1984年より日立製作所中央研究所および基礎研究所にて植物バイオテクノロジーやゲノム科学の分野の新しい研究手法やツール開発、船舶バラスト水浄化装置の開発やバイオエネルギー開発に従事した。2000年に理学博士取得。2010年4月より現職。

研究テーマ：バイオ燃料として期待されている微細藻類の増殖特性や環境応答の分子調節機構の解明
キーワード：エネルギー、細胞周期、光、ユーグレナ、植物、生態系、プランクトン、微生物、進化

きっかけは屋外で

生命科学の世界に飛び込んだきっかけは、高校の生物部での活動だった。鬱蒼とした林の中、落雷や倒木によってぽっかりと穴が開いた樹冠から光が降り注ぎ、小さな芽が背を伸ばし始めている。潮が引いた磯で巻貝を観察すると、右巻きが多い中、たまに左巻きのもが見つかる。「生物は暗記科目じゃない、実際に屋外にいるいろいろな生き物のことを勉強するものなんだ、って感じたんです」。いろいろな生き物を見たい!知りたいたい!そう考えて進学したのは、筑波大学第二学群生物学類。動物、植物、微生物の専攻の中から、種類が豊富でおもしろそうだと感じた植物を選んだ。卒業研究の分野としたのは、植物プランクトンや藻類の分類学だ。電子顕微鏡を使って細胞の微細構造を観察、比較して種を区別し、どれほど似ているか、または異なるかを調べることで、種どうしの系統関係を調べた。

プランクトンを見つめ続けた大学時代

中学校や高校にある、倍率が数百倍の光学顕微鏡を使って池の水を観察するだけでも、さまざまなかたちをした植物プランクトンを見つめることができる。それを電子顕微鏡ですらに拡大していくと、細胞の表面にある繊毛や、鞭毛のつけ根の構造など、さらに細かいかたちの違いが見えてくる。違いをつくっているのは、その構造をつくるタンパク質だ。種によって遺伝子が違うから、つくられるタンパク質も違う。それが顕微鏡で観察できる形態の違いにつながる。中でも、「次世代を残すという重要な役割を持つ細胞だから」と対象に選んだのは、鞭毛を持ち水中を泳ぎ回る遊走細胞だ。特に、鞭毛のつけ根からあたかも細胞内の骨格を形成するように伸びた微小管

の配置や、細胞分裂する際にひとつの細胞を2つに区切るために働く分裂構造に、篠村先生は着目した。世界中の研究者が、電子顕微鏡という新しいツールを使って観察することにより、それ以前は植物の祖先だと考えられていたクラミドモナスという微細藻が、実は植物の祖先とは兄弟のような関係で、もっと前にいた原始藻類からそれぞれが生まれてきたのだということが明らかにされてきたのだ。

企業で研究の事業化を学ぶ

博士課程1年のとき、大学を辞めて日立製作所に入社。人工の閉鎖環境で、蛍光灯の光を使って野菜を育てる植物工場の技術開発や、植物の遺伝子組換え、組織培養技術の開発…大学では学んでこなかった植物にまつわる技術開発を数多く経験してきた。その中で、植物が発芽するときの光に対する応答の研究で博士号を取得。そして2007年、「船舶バラスト水の浄化技術の開発」という研究プロジェクトに誘われて再びプランクトンに巡り会った。

バラスト水とは、船舶がバランスを取るための重りとして船底に引き込む海水のこと。たとえば、日本でこの水を汲んで中東まで移動する。中東からの帰路では原油などの貨物が重りとなるため、不要なバラスト水は捨てていく。すると、日本近海のプランクトンなどが、人為的に中東に輸送されることになる。これが、海洋の生態系を乱す一因となっているのだ。かといって、バラスト水自体は必要なもので使わないわけにはいかない。そこで、船内で水生生物を除去する技術が必要となってきた。「私が大学でプランクトンの研究をしていたとは誰も知らず、偶然誘われたんです」。この偶然を「天命だ」と思った篠村先生は、学生時代の先輩や教官に協力を募り、工学や化学が専

門の日立やグループ会社のスタッフとともに研究開発を進めた。この事業は最終的に、基礎的な研究の成果から技術情報、参考文献など「厚さ10cm近いファイル3冊分」の書類としてまとめ、2010年3月5日、日本政府から型式承認を受けた。

産業化を見据えたこれからの研究

いま行っているのは、プランクトンからバイオ燃料を生産する技術のための基礎研究だ。プランクトンの中には体内で油を合成する種があり、それを利用した燃料が、現代の石油消費の一部を肩代わりすることが期待されている。だが、実用化のためには、自然界から油を合成するプランクトンを効率的に探し出したり、大量に培養できるプラントをつくったりするための新しい技術が不可欠だ。たとえば植物プランクトンは光合成で育つため、産業レベルで利用するには、直射日光を浴びる屋外のプールのように雑菌も入り込むような厳しい環境でも育てなければならないだろう。そのために、直射日光のような強い光の下でどのような遺伝子が働くのかを調べたり、それをもとに実用に耐えるプランクトンの育種に取り組むことも重要だ。

「自分自身の特性は、好奇心を追求する基礎研究者」と話す篠村先生だが、企業で育ち、技術の産業化も経験してきたからこそ、その基礎研究が実社会で活きるために何が必要かを知っており、産業界への人脈もある。「もし興味があれば、企業の中で研究をしてもらうこともできます」という篠村研究室には、純粋な科学好きの学生も、社会に役立つ技術を開発したい学生も、ともに活躍できる場が用意されている。



最新技術で リサイクルの道を拓く

柳原先生がガスポンベのcockをひねると、
透明の容器の中に勢いよくガスが噴き出した。
底にどンドンたまる液体の二酸化炭素。
容器に栓をしてから温めると、液体が消えた。
この瞬間、容器の中では超臨界状態が発生している。



高温・高压容器。

柳原 尚久 やなぎはら なおひさ

1979年、宇都宮大学大学院修士課程修了後、
1985年、Univ. Autonoma de Guadalajara 大学院にて博士課程修了。
同大学化学科助教授、Univ. of Arizona 博士研究員を経て、
1990年に帝京大学理工学部へ赴任。
バイオサイエンス学科助教授を経て2008年より現職。

研究テーマ：超臨界流体を用いたプラスチックのケミカルリサイクル、バイオマスの高度有効利用
キーワード：超臨界流体、プラスチック、ケミカルリサイクル、バイオマス

固体、液体、気体ともひとつの状態

固体、液体、気体。教科書で一度はお目にかかったことがあるのではないだろうか。実は、これ以外に別の状態が存在する。固体でも、気体でもなく、液体でもない。その名も超臨界状態。密閉された容器の中で、温度と圧力を高めるときにだけ発生する状態だ。水の場合では374℃、22MPa以上で超臨界になる。22MPaというのは、水深2200メートルにかかる圧力に相当する。プールや海で潜ったときに、少し押される感覚を覚えるかもしれないが、それをはるかに超える、人ならすぐに押しつぶされてしまうような圧力だ。私たちが普段生活しているおおよそ1気圧の世界では100℃までしか温度が上がらない水も、こうした非常に高い圧力では、374℃という高温に達し、100℃の水では溶かすことのできないような物質まで溶かしてしまう。超臨界状態の物質は、特殊な性質を発揮するのだ。

この特殊な性質は、すでに身の回りでも応用され始めている。最も有名なものとしてカフェインを減らしたインスタントコーヒーがある。二酸化炭素の超臨界状態を利用すると、コーヒーから風味を失わせることなく、カフェインを除去することができる。

環境問題に取り組む技術

環境問題とひとりでいっても、大気汚染、土壌汚染、水質汚染、ゴミ問題、森林破壊、温暖化など、問題はさまざま。世界ではこれらの問題に、バイオ、化学、工学といったさまざまな分野の技術で取り組んでいる。バイオ技術の例では、土壌や水質の汚染を微生物や植物によって分解、吸収する技術がある。また、生分解性プラスチックのように、微生物によ

って分解されるプラスチックの研究も進んでいる。さらに、最近ではバイオエタノールのように、植物から燃料をつくり出す研究が盛んに行われている。

これに対し、化学の技術によって環境改善に取り組んでいる例では、触媒という化学反応を促進する物質を使って、汚染物質を無害化する取り組みがある。その他、工学的な観点では、工場での製造過程の効率化を図ることで、使用される原料を減らす、廃液や排ガスに含まれる汚染物質を極力減らすといったことがある。しかし、バイオ、化学、工学のいずれも製品を再利用する技術の開発は実用化に至っていない。

超臨界の可能性

超臨界状態は環境問題の中でも、土壌や水質汚染に対応できる技術として認められつつある。その一番の例が、ダイオキシン分解。最近では、その他でも利用が考えられている。特に、加工した材料を原料レベルまで分解して再利用するケミカルリサイクルというリサイクル方法だ。身の回りにあふれているプラスチック製品はすべて、石油を原料としている。原油を工場で分離すると、ガソリン、軽油の他に、プラスチックの原料となるナフサと呼ばれる物質がとれてくる。ナフサはさらに分解され、エチレンやプロピレンといった、ポリエチレン、ポリプロピレンなど聞き覚えのある製品の原料になる。そのため、プラスチック製品を原料のレベルまで分解することができれば、あふれているプラスチックゴミを原料に変えることができる。生分解性プラスチックは製品が土に還ってしまうが、超臨界の場合は製品を原料に変えることができる点が、同じプラスチック製品を対象にした技術でも大きく異なる。

超臨界二酸化炭素でリサイクルに挑む

二酸化炭素の場合、31.1℃、7.4MPaという現在知られている中でも最も簡単な条件で超臨界状態に到達が可能だ。そのため、水と比べるとはるかに実験を実施しやすい。この超臨界二酸化炭素を利用してプラスチックを溶かす研究が始まった。これまでの研究で、包装容器に用いられているポリエチレン、タッパーに用いられているポリプロピレンは分解しにくいことがわかっている。反対に、ペットボトルの材料であるポリエチレンテレフタレートに代表されるポリエステル、ナイロンに代表されるポリアミドといった製品は分解しやすいことがわかってきた。その分解物の分析から、プラスチック製品の原料になるジカルボン酸が多く含まれることがわかっている。「現在のところ、50mLの密閉容器を使って5g程度のプラスチックを1時間反応させたときに、0.1～0.5gという高い収率で分解物が得られるところまでできています」と柳原先生は語る。

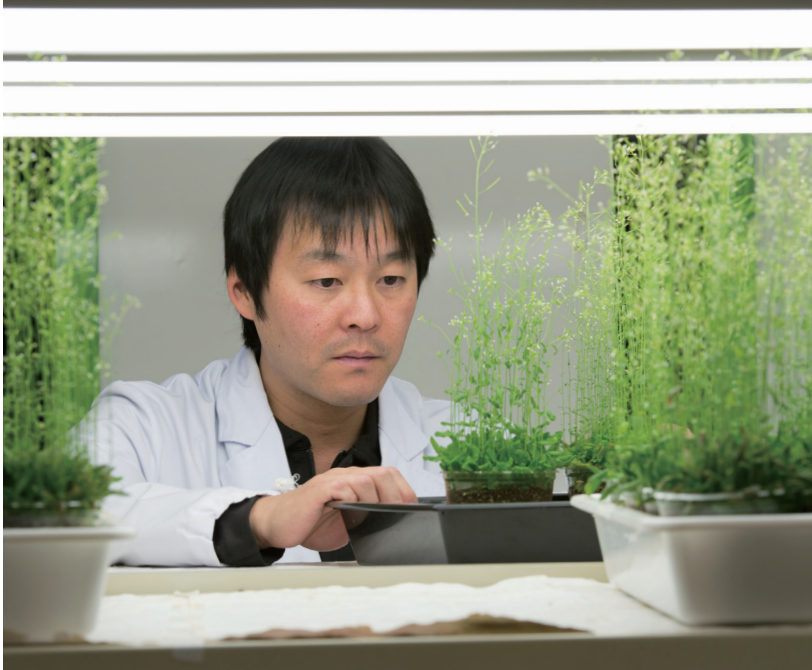
指導した学生から特製のコップをもらうほど、慕われる柳原先生。研究室の学生とともに、この技術をさらに磨き上げ、地球環境に優しい化学反応とリサイクルを目指して、これからも研究は続いていく。

実験も勉強も楽しい！

子どもの頃から、将来は学校の先生か研究者になろうと考えていた。

「でも、その頃は研究者って雲の上の存在で、どういうものなのか具体的なイメージはできていませんでした」。

そんな朝比奈先生が研究の道に進むきっかけになったのは、大学のパンフレットに載っていた不思議な生き物の写真だった。



植物の茎を傷付けるときに使うメス。



朝比奈 雅志 あさひな まさし

1999年東京学芸大学・教育学部卒業、2004年筑波大学大学院・生命環境科学研究科修士。博士(理学)。筑波大学・日本学術振興会特別研究員(理化学研究所・植物科学研究センター客員研究員併任)、オレゴン州立大学 Postdoctoral Research Associate、筑波大学・遺伝子実験センター研究員を経て、2009年より現職。

研究テーマ：植物切断組織の癒合に関する研究、植物ホルモンの合成と受容に関する研究

キーワード：植物生理学、植物ホルモン、接ぎ木、組織癒合、遺伝子、環境応答

自分の手を動かして発見すること

パンフレットで見つけた生き物は、「プランクトン」。そのかたち^①に心惹かれた。生物を扱う研究なら、目に見えるものを対象にしようとその研究室に入り、プランクトンの構造について研究を始めた。東京学芸大学の教育学部で学び、「子どもの頃から好きだった理科の楽しさを伝えたい」と教員を目指して勉強していたが、自分で手を動かすことで何かわかるということに喜びを感じるようになる。その後、大学卒業を機に大学を移り、研究を続けていくことを決めた。

進学先でも新たに研究室を選ぶことになるが、数多ある研究室で行われている研究をひとつひとつ丁寧に調べては、いつまで経っても決められない。そこで大きな役割を果たしたのが学会の要旨集だった。各分野の研究者が集まる学会は、年に1度年会を実施し、会員が各々の研究成果を発表する。その発表要旨集は、その分野の旬な研究をどの先生が行っているかを知ることができる、優れたツールなのだ。朝比奈先生は、この中から筑波大学のある研究室を見つけ出したのだった。

見えないものが「見える」変化をもたらす

「植物の茎に傷をつけたら、その後どう変化していくのか調べてみよう」。そう教授に言われ、これが朝比奈先生の研究テーマになった。動物細胞は細胞がくっついたり離れたりするが、植物の場合はそうではない。しかし例外があり、そのひとつに、農業などで用いられている「接ぎ木」がある。日本のスーパーマーケットに並ぶキュウリのおよそ9割が、カボチャを台木とした接ぎ木で栽培されている。子葉が出たばかりのカボチャの茎とキュウリの茎それぞれに傷をつけ、

その部分が互いにはまるように接続する。その傷が治癒すると同時にカボチャの茎とキュウリの茎がくっつくのだ。

接ぎ木を行う際、古くからの手法として「台木のカボチャの子葉を切断せずに残す」ことが伝えられてきた。子葉の後から出てくる本葉は取り除いてしまうのに、なぜか子葉だけ残しておく方がいいという。「その手法と接いだ部分の傷の癒合に関連性があるんじゃないか、と思って」。

キュウリの子葉がついている茎とついていない茎では、傷をつけた後の組織の癒合に違いがあるのか調べた。顕微鏡で傷口を観察すると、子葉を切断した茎は傷の断面の組織が切り離されたまま治癒しなかった。子葉でつくられている物質が関与しているのだろうか？種々の植物ホルモンの添加実験を行った結果、ジベレリンを添加すると傷口が回復することがわかった。

植物ホルモンは、目で見えない。そして、その生合成を司る遺伝子もまた、目で見えることはできない。「そういう目で見えないものの変化すると、傷口が回復したり組織のかたちが変わったりと目に見える変化として結果が出る。そうやって、遺伝子、その情報をもとにつくられる化合物、その作用によって変化する組織、個体…とつなげていきたい」と朝比奈先生は言う。

勉強するのが楽しい！

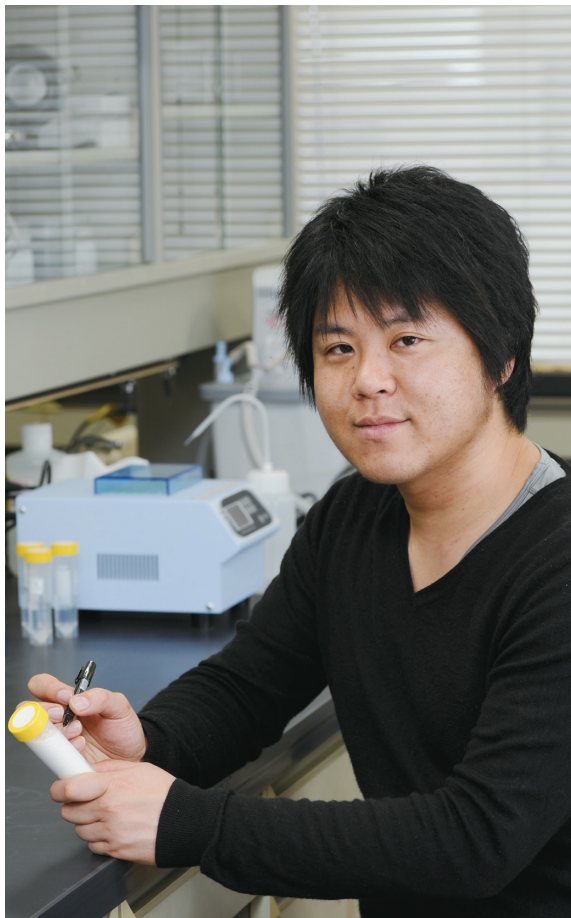
「ある先生に言われたんです。『この時期は、あいまいな知識を整理するいい機会だ。今しかないぞ』って」。大学の教員になってまだ日も浅いので、講義のためには自分の専門から少し外れた分野を勉強することも必要だ。しかし、勉強していると、実験のアイ

デアがひらめいたりヒントになるようなことがらにあたりあたる。そして、実験をしていると疑問が浮かんで来て、また勉強する…。数名の学生の卒研を指導しながら、限られた時間をめいばい有意義に使っている。「今、勉強がすごく楽しいんです。確かに、勉強していると使える時間はその分減ってしまうんですが、相乗効果で勉強も研究も進みます」。学生の頃も、勉強するのが楽しいと思ったのは、「これからこの分野の研究の道に進むんだ」と決めた4年生の終わり頃からだだったという。覚えなくてはいけない知識や実験方法はもちろん同じだが、それに対する意識が変わったということだろう。好きなもののためなら打ち込める。そして、何より楽しいのだ。

自分の手で結果を残す

「たとえば植物の組織を写した同じ写真でも、ただ本や教科書に載っているものと自分が撮ったものでは思い入れが違う。自分でやった実験の結果がかわいいですね」。教育実習等で身につけた、わかりやすく丁寧な話に聞き手は引き込まれていく。

実験で出た結果を最初に目にするのは学生だ。彼らには、「それが学会で発表されたり論文になったりして世に残っていく。だから、遊びではなく真剣に取り組むんだよ」と話している。そのかいあってか、学生たちもだんだん実験が楽しいと言うようになってきた、と顔をほころばせた朝比奈先生。楽しい実験と勉強の時間は、まだまだ続く。



病気を治せる食品を探せ

からだの生理学的機能などに影響を与える成分を含み、特定の保健効果が科学的に証明されている「特定保健用食品」に注目が集まっている。榎元先生は、畜産物に含まれるタンパク質成分がさまざまな生活習慣病に及ぼす影響や予防を目的として利用できる可能性について研究している。



榎元 廣文 えのもと ひろふみ

鹿児島大学大学院連合農学研究科生物資源利用科学専攻を修了し、2009年3月に博士号(農学)取得。また、2008年4月より2010年3月まで日本学術振興会特別研究員。2010年4月より浜松医科大学分子イメージング先端研究センター特任研究員を経て、2011年4月より現職。趣味はサッカー観戦、テニス。

研究テーマ：質量分析法を用いた食品の栄養・機能に関する研究

キーワード：卵、乳、ポリフェノール、植物ホルモン、リン酸化、食品機能、質量分析、イメージング

食べて生活習慣病を予防する

「食べながら、生活習慣病を予防できる機能性食品となるようなタンパク質を見つけられたら」と榎元先生。欧米で起きている、生活習慣からくる肥満の問題をニュースで耳にしても、自分たちには関係のない話……でよかったのはもう昔のこと。近年は、日本でも生活習慣の欧米化や運動する機会の減少によって肥満に関連した疾患病などが問題となってきている。糖尿病・高脂血症・高血圧などは、肥満がひとつの要因で引き起こされることもある病気だ。

榎元先生は、特定の食材を生活に取り入れることで生活習慣病の予防などに役立てられないだろうかと考えている。生活習慣病の中でも特に興味を持っているのが「メタボリックシンドローム」、いわゆるメタボだ。この疾患の怖いところは、自覚症状がないことが多く、合併症(高血圧・高血糖・糖尿など)になり、動脈硬化を引き起こしてから気がつくというケースもあること。榎元先生は、生活習慣を改善するとともに、普段から摂取している食品の中に肥満を抑制する特性をもった動物性タンパク質がないか探している。注目しているのは、ミルクと卵のタンパク質だ。ミルクは赤ちゃんの完全栄養食品と呼ばれているし、卵には、ヒナが殻を割って生まれてくるまでに必要な栄養分が含まれている。そして、ミルクに含まれるラクタフェリンというタンパク質には、肥満を抑制する効果があることがわかっている。「これら食品の中に、生活習慣病に影響を及ぼすようなタンパク質がまだ隠れているのでは、と考えています」。

捨てられているタンパク質を有効活用

学生時代からずっと、タンパク質に関わる研究を続

けてきた。テーマは、タンパク質のリン酸化。タンパク質の中には、「リン酸化タンパク質」と呼ばれる、分子のある位置にリン酸基がくっつくことで、特定の生理活性を持つように変化するものがある。「実は、体内ではリン酸化されないタンパク質でも、人工的にリン酸基をつけてやることで生理機能や化学的特徴が変わるタンパク質があるのです」。榎元先生は、タンパク質を人工的にリン酸化するリン酸塩存在下で乾燥加熱という手法を使って、タンパク質にどんな機能が現れるかを調べているのだ。

たとえば、牛乳やチーズの製造工程で出てくる「ホエイタンパク質」。その量は商品となるチーズ重量の10倍に上り、10数年前まではゴミとして大量に捨てられていた。現在は、家畜のエサや、筋肉トレーニング用のプロテインとして消費されているが、その用途では消費しきれないほどの量のホエイタンパク質が生産されている。さらに、海外ではあまり活用例がなく、ほとんどがゴミとして捨てられている。そこで、リン酸化によって機能を付加し、有効活用しようとしているのだ。すでに、ホエイタンパク質をリン酸化すると、リン酸化していないものに比べて炎症を抑える効果が強いことなどを発見している。その他、卵などでも卵白が捨てられる場合があり、その有効活用は社会的にも強く求められている。

「食べることで病気を治す」夢

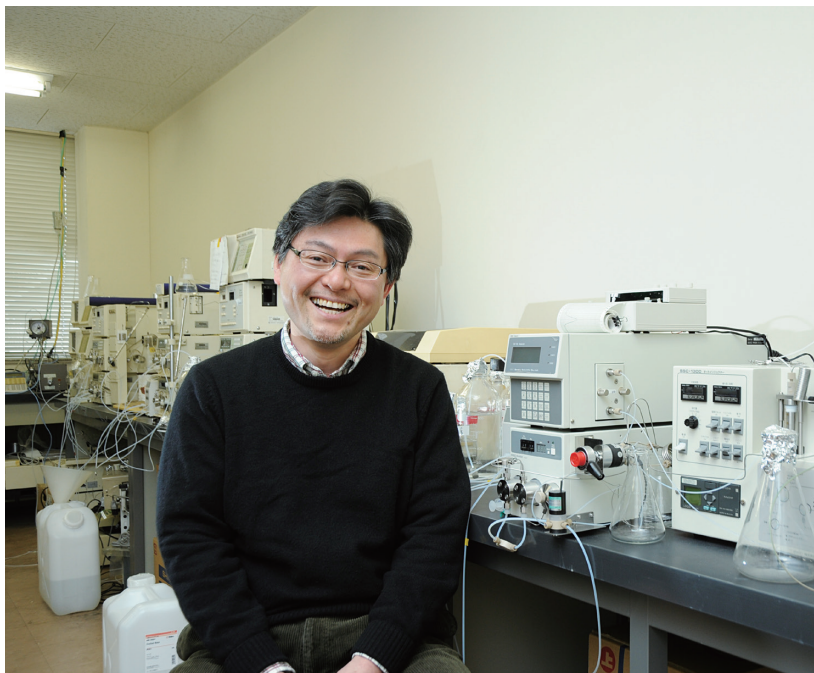
学生には、「自分の興味のあること、将来やりたいことを見つけ、計画を立ててそれに向かって進んでほしい」。榎元先生が自分の目標を定めたのは、大学院を修了した後、浜松医科大学分子イメージング先端研究センターで研究をしているときだった。周りには

大学の教員になって研究を続けることを目標にして努力している仲間がたくさんいて、刺激を受けた。榎元先生が掲げた目標は4つ。まずは、自分の研究を行うための資金を自分で稼げるようになること。オリジナルの研究テーマを持つこと。それらの力を証明するために研究成果を論文としてしっかり発表すること。そして、人脈をつくることだ。学生のときの恩師には、優秀な研究者こそ出身ラボを出て、別の場所で新しい研究室を立ち上げられるはず、そういう研究者になりなさい、と言われてきた。力のある教授の下、安定した環境に身を置き続けることなく、外に飛び出して恩師より大きな研究室を立ち上げようという意志を持って、というのだ。

榎元先生は、これまでも外部から研究費を獲得しながら研究を続けて来ている。夢は、本当に病気で困っている人を、食を通して治療や予防ができるような研究をしたい。病気を治せるような機能性食品をつくること。「本当にできるかはわからないですけどね」と照れくさそうに笑う榎元先生からは、研究に対する熱い気持ちが伝わってきた。

植物体内に潜む微生物から探す、未知の化合物

「自宅の温室に、数百鉢はあると思います」。
 そう言いながら、机の上に置いたランの鉢植えを見つめる。
 その高橋先生の視線は、植物体内に潜む微生物、
 そしてそれがつくる未知の物質の姿を追い求めている。



研究室で育てているラン。



高橋 宣治 たかはし せんじ

1985年、東京理科大学理学部化学科卒業。
 1991年、同大学大学院理学研究科化学専攻を修了。理学博士。
 1991年より帝京大学理工学部勤務。現在に至る。

研究テーマ：土壌や植物由来の微生物から新規生物活性物質の探索
 キーワード：微生物、代謝産物、細菌、糸状菌、放線菌、抗菌物質、感染症

物質が持つ美しいかたち

高橋先生は、土壌や植物体の内部にいる微生物を単離して、それがつくる化学物質の構造を解析している。微生物が持つ化学物質の中には、人間社会に役立つものが数多く存在する。たとえばかぜを引いたときに病院へ行くともらえる抗生物質は、元はカビや放線菌が自分自身の身を守るためにつけていたものだ。他にも農業として利用できる物質なども見つかり、彼らの力が人類に与えている利益は莫大なものになる。さらに、人類はまだ地球上に存在する微生物のうち数%しか発見していないといわれており、まだ見ぬ新種、そして化学物質を見つけ出そうと、日々研究が行われている。

ただ、中には「役に立つ」という視点とは少し違った見方をする研究者もいる。「ひと言でいえば美しさですね。分子構造の美しさに興味があるんですよ」と言う高橋先生もそのひとり。微生物がつくる物質の「かたち」に心惹かれ、おもしろいかたちをしたものを見つけたいという想いで研究を行っている。

ひとつの化合物から広がる研究

かたちにこだわる理由は、大学院生時代の専門にある。化学科に在籍し、シクロファンという、ベンゼン環を含みながら全体がさらに大きな環状になっている化学物質を扱っていた。「普通はベンゼン環って、平面なんです。でもシクロファンでは歪（ゆが）みがあるんですよ。天然にはあり得ない化合物だが、人工合成は数十年前から行われていた物質だ。少数のベンゼン環が短い炭素鎖でつながって環状になったものでは、ベンゼン環のかたちが歪む。平面が最も安定な状態であるベンゼン環が、そのときにどのような性

質を持つかが、古くから研究対象となっていた。高橋先生は、修士課程のときにはその構造を少しずつ変えながら反応性の変化を調べ、博士課程では新しい合成法の研究をしていた。

微生物を扱うようになったのは、卒業後に帝京大学に勤めてからのことだった。「最初の頃は学生と同じでしたよ。博士号を持っていても、全然分野が違いますから」。学生と一緒に実験をするうちに、微生物がつくる物質の多様さにおもしろさを感じていったという。「なぜこんなものをつくるんだろうって考えると、研究として展開できるんですよ」。どのような反応によって合成されるのか、そこにどのような遺伝子が関わっているのか、おもしろい物質がひとつ見つければ、その先の道は多数ある。自分自身の手ですべてを調べられるわけではないが、他の分野の専門家と協力しながら、研究の幅を広げていけるのだ。

新しい物質を求めて

最初は土壌中の微生物を対象にしていたが、最近になって植物内にいるものを探し始めた。共生していたり、休眠していたりする菌で、植物が枯れたときに増殖を始めるものがある。「土壌と植物では微生物の種類や分布が違ったり、土壌中ではなかなか見つからないものもあるという報告もあります。当然、菌が違えばつくっているものも違うんじゃないかっていう発想です」。葉や茎をすりつぶして寒天培地上に置き、増殖してきた微生物を種類ごとに単離する。

未知の物質があるかどうかを調べるために使うのは、薄層クロマトグラフィーや高速液体クロマトグラフィーという方法だ。ガラス板の表面やステンレスの筒の中にシリカゲルなど担体と呼ばれるものを詰め、

そこに菌体を溶かした液を通すと、担体との結合力が強い物質ほど遅く、弱い物質ほど速く移動するため、結合力の違いで分離できる。実験条件を一定にすれば、移動パターンは再現できるため、新しい菌を使ったときにそれまで見たことがない分離パターンが現れた場合には、そこに新しい物質があることになる。それが見つかったら、構造の解析を行うのだ。

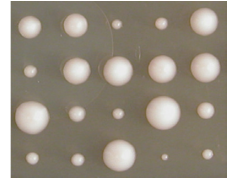
温室には宝が眠る

植物内の微生物についてはまだ始めたばかりで、どの植物を調べるといふ狙いを定めてはいないという。だからこそ、研究室の学生には「名前がわかる植物なら、何を取ってきてもいい」と言っている。同時に、先生自身が趣味で育てているランからも、微生物を見つけ出そうとしている。「ランは何万種類もありますから、何が入っているかわからない。でもこの葉っぱ、この茎の中に、いますからね。やつらは絶対、変わったものをつくっているはず。それをどうしても発見したいんですよ」。自宅に温室を持ち、数百鉢ものランを育てているという高橋先生。趣味を研究に活かしながら、まだ見ぬ宝物を見つけ出そうとしている。



研究は、楽しくなければ！

「生物って曖昧なことが多いじゃないですか。生物の、そういうかっちり決まっていなくて好きなんです」。そう話す高山先生は、DNA が巻きつく「ヒストン」というタンパク質に注目して、細胞分裂によって新たな細胞が生まれる際の分子の挙動を明らかにしようとしている。



テトラド解析結果
半数体酵母を掛け合わせ、4つの胞子を形成させる。
胞子を1つずつ顕微鏡下で分離し、寒天培地上で生育させると写真のようなコロニーが得られる。1つのコロニーが1胞子に由来する。

高山 優子 たかやま ゆうこ

茨城県出身。帝京科学大学卒業後、筑波大学修士課程修了。
総合研究大学院大学遺伝学専攻にて荒木教授のもとで博士号取得。
久留米大学にてポストドク・助教勤務を経て、
2012年6月より帝京大学理工学部へ。

研究テーマ：染色体構築に関わる分子基盤の解明
キーワード：染色体、酵母、セントロメア、ヒストン

生き物の命を扱う研究

大学1年生のとき、実験補助のアルバイトとして研究所で研究者のDNAの実験を手伝ったことから、DNAの研究に興味を持った。大学生時代に所属した研究室は、魚を扱う研究室だった。この研究室での経験が、高山先生の研究者としての姿勢を育ててくれたという。

その研究室は、ユニークな方針で運営されていた。「魚に関連するテーマであれば、どんなテーマでもいいんです」。そこで、魚を研究材料にした分子生物学ができるDNA複製酵素の精製や遺伝子をクローニングしたりするテーマを選んだ。大学4年生の1年間、とても楽しく研究が進んだのだという。研究室の自由な運営方針も相まって、研究にのめり込み、それから研究の道を志した。「研究は性に合うといえはいいのかな。一番びったりくるんです」。研究は楽しくなければいけないという考え方は、このときに育まれたものだ。また、いきなり細胞や組織ではなく、生物の「個体」を扱う研究室だったことも、研究キャリアをスタートさせるうえで重要だったという。「生物の命を奪って実験サンプルにするのだから、サンプルから可能な限りデータを取り、かつそれを活かすように研究をしないさ」。そう、当時の先生は教えてくれた。その教えは、酵母という微生物を扱うようになった今でも、高山先生の研究方針に根強く息づいている。

染色体研究の魅力

個々の遺伝子の研究だけでは生命現象は明らかにできないと思い、そのためにはもっとシンプルな生き物で研究をしたいと考えた高山先生は、次の研究材料に酵母を選んだ。単細胞である酵母を使えば、臓

器や組織や、細胞間の連絡があって……と考えるべき要素の多い高等動物ではブラックボックスとなってしまふ部分を少なくして実験を行うことができ、その結果、見ることができる現象もクリアなものになりやすいのだ。酵母で見られた現象が他の生物でも起こる現象なのかを確認することも可能だ。

いま研究しているヒストンは、細胞分裂の際、DNAを染色体へとかたち作るために重要な役割を果たしているタンパク質で、酵母からヒトまで真核生物に共通して存在する。古くから、核の中のヒストンの発現が正常に行われなくなると、細胞が死んでしまうという現象が知られていた。しかし、その原因は詳しく解明されておらず、染色体構築に関わる分子のしくみについて興味があった高山先生は、酵母を材料にヒストンの謎を追いかけてきた。近年、細胞分裂のいくつかの段階の中で、ヒストンのできるタイミングがずれると、染色体がうまく分裂できない、ということ突き止めた。いま注目しているのは、ヒストンがつくられる過程と染色体の維持との関連性だ。ヒストン遺伝子は複数コピーがゲノム上に存在するが、酵母では簡単に遺伝子組換えが可能なので、それをひとつひとつ機能できないようにしていくことで、ある遺伝子で発現したヒストンがどういった役割を果たしているのかを調べていくことができる。ヒストンはDNAに巻き付いているので、今できたヒストンタンパク質と以前からあるヒストンとを見分けることが難しく、そのやり方を模索中だ。

自分だけの強みを活かして

「ヒトなどの高等生物を研究材料にしている方は多いのですが、分裂酵母で純粋にヒストン発現制御研

究をしているのは、おそらく世界中で私だけです！」高山先生は、ヒストンタンパク質の研究を進めるためにさまざまな遺伝子の組み合わせの酵母をつくっており、世界中から問い合わせが来るという。近い将来、帝京大学特有の酵母を単離するなど、自らの強みを活かしてこの研究の発展に貢献できたらと、構想は広がっている。

「生物は、必ずしも規則通りではなく、生きていける環境がある程度許容できたりする、その曖昧さが好き」と話す高山先生は、大学教員になった今、4年生のときに研究との楽しい出会いを与えてくれた研究室のように、これから研究を志す学生がもっと楽しめるようなテーマを新たに考案中だ。「私が行っている研究は基礎研究なので、実験結果が直接的に人の役に立つという研究ではないのですが、教科書に載るような仕事をしていきたいですね」。いきいきとした顔で、そう語ってくれた。

脳とストレスと遺伝子の関係を解き明かす

命や心と密接につながっているテーマだからこそ、研究者としての横顔だけでなく、母親としての視点も忘れない。トータルライフの問題を科学的な観点で、次代を担う人たちに伝えていきたい。



平澤 孝枝 ひらさわ たかえ

1999年、日本女子大学大学院博士後期課程卒業。学術博士。国立精神・神経医療研究センター博士研究員を経て、2005年より山梨大学医学部助教。2014年4月より現職。

研究テーマ：幼若期・胎児期における子育てなどの環境因子と脳機能発達の関連性

キーワード：脳機能発達、遺伝子制御機構、環境因子

ストレスは脳の発達に影響する

近年、うつ病が大きな社会問題としてクローズアップされているように、人はいったん社会に出れば、あらゆるストレスに囲まれて生きていかななくてはならない。だが、家庭の中でもストレスは大なり小なり存在している。もっと突き詰めれば、母親の胎内に宿った時点から、我々はストレスにさらされてきたのだ。

平澤先生は現在、胎生期・幼若期のストレスと成熟後の脳機能発達についての研究を進めている。具体的に言えば、赤ちゃんや子どもの脳がストレスでどのような影響を受けるか、成長してからの脳がストレス・環境・栄養などでどのような影響を受けるか、という研究だ。

中でも主要なテーマの一つとして挙げられるのが「母子分離」。母親から一定期間引き離された新生児マウスの脳機能を調べるのだが、母親のもとにいるマウスとはかなり差異が出る。人間社会でも、仕事の都合などで赤ちゃんのそばにずっといられないお母さんはいるわけで、何とも考えさせられるテーマだ。

また、妊娠しているマウスの近くにキラキラ光るガラス玉を置いたり、眠る場所に敷いてある木のチップを濡らしたりしてストレスにさらした場合、生まれてきた子どものマウスに変化があることも実験結果に出ている。いかに胎内環境が大切かは明白なのだ。

外的・後天的な要因も見逃せない

さらに、ある程度成長した後は、外的要因が神経や脳機能に関わってくる。それを制御・調節しているのは、我々の遺伝子だ。栄養・ストレス・薬・養育環境といったファクターが遺伝子に作用し、身体や脳の成長に影響や差がもたらされる。その働きを専門的

な用語では、後天的遺伝子発現調節機構（エピジェネティック）と呼ぶ。これも先生の研究テーマだ。

「わかりやすい例を挙げるなら、一卵性の双子がそうですね。遺伝子は同じでも、まったく同じ人格とは言えません。外見や声がどんなに似ていても、ファッションや食べ物の好みが少しずつ違うことも珍しくないし、サッカーと野球など、それぞれ別のスポーツをしている双子もいます」と平澤先生。これらはつまり、幼稚園や学校で別のクラスになり、友達や周囲の環境が異なるなど、生まれてから後に受けた影響によるものと考えられるようだ。脳は他の臓器や身体の部位とは違って、青年期までずっと発達していく特徴がある。学習や経験によって新たな機能を獲得していくのだ。だからこそ、後天的な要因との関係を知ることは大切といえよう。

別の角度から考えれば、外部からの刺激が人を形成していくということ。ストレス社会を生き抜くうえでも重要な研究であり、医療分野への応用も十分に考えられる。まだ明らかになっていない点も多いが、先生の研究がより進展することを期待したい。

生きていくうえでのヒントとして

平澤先生が担当する講義は「発生生物学」。受精の段階から、生命の成り立ちやメカニズムを解き明かしていく学問だ。実際の講義では、テキストや理論だけでなく、先生が実験と研究で得た知見をもとにした話も盛り込まれ、奥行きのあるカリキュラムとなっている。

だが、生物学の一環としてとらえるだけではなく、命と心、そして生きていくことに直結した学びの機会ともいえるだろう。「これから人生を歩んでいくための

ヒントとして活かしてもらえたらうれしい」と先生は語る。「将来、出産を経験する女性も少なくないでしょう。男性も奥さんが妊娠したらサポートしてあげなくてはなりません。その折には、健やかな赤ちゃんの誕生は胎児期からの配慮が欠かせないと習ったことを思い出してほしいですね」。

先生ご自身も子育ての真っ最中とあって、話は育児にも及ぶ。「人は嗅覚・触覚・聴覚・視覚・味覚と5感の発達に伴い、協調運動や学習等の高次機能が発達しますが、そのステップには厳密な時間軸があります。個々の発達の進捗が重要で、何でもかんでも情操教育だからと詰め込むのでは、かえってストレスになりかねません」。

脳が急激に育っていく過程では、前述したように外的・後天的な要因が大きく影響するので、環境作りも大切だが、脳機能発達に応じて無理なく行うのが好ましいようだ。よりくわしく知りたい人は、ぜひとも先生の講義の中で質問してほしい。ちなみに先生の休日は、小学生の息子さんとのコミュニケーションに時間の大半を割いているそうだ。

今後先生は、「分子」で「心」を読み解くことを最終的な研究テーマとして考えている。もともとの専門は神経科学。やはり心との関連性の強い分野だ。環境要因が「心」をどのようにかたち作っていくか、その過程と結果をライフワークとして追求していく。



工学の道から 医療の発展に貢献する

高校生のころから機械いじりが好き。
でも医者にも興味を持っていた。
そして選んだのは、生体工学を学び、
医療に役立つ研究をするという道だった。



人工血管。

吉成 宏巳 よしなり ひろみ

1986年、東北大学工学部卒業。
1988年、同大学大学院工学研究科機械工学第二専攻博士前期課程修了。
1989年、帝京大学理工学部助手として着任。
1998年、東京大学にて博士(工学)を取得。2003年より現職。

研究テーマ：人工血管における内膜誘導ならびに動的力学適合性評価に関する研究

キーワード：人工血管、高分子、粘弾性、力学的適合性、生体親和性、超音波、内皮細胞、平滑筋

過酷な環境で働く血管

人工血管の力学的特性を調べるというのが、大学院生のときから一貫して行っている研究のテーマだ。病気や事故の後、もともと持っていた血管がうまく機能しなくなったときに、血管の一部を人工物で置き換えることがある。その人工血管は、体内に移植した後は生体の血管と同じように、心臓の拍動に合わせて変化する血流の力を受ける。その力は、生きている間は当然止まることがない。1回1回は弱い、1分間に90回心臓が脈打つとすると1日に129,600回、1年間だと5,000万回以上にもなる、拍動の力。血管という環境は、実は想像以上に過酷なのだ。

生体の血管は、内側から内皮細胞による内膜、平滑筋細胞による中膜、コラーゲン線維層である外膜という3層構造になっている。この構造により弾力性を持ち、時には血管自体が収縮、拡張することで心臓の拍動の補助を行っているのだ。そこに人工物でつくった血管をつなぐと、どうしても動きの違いが出る。そのミスマッチを放置しておくと、血液の漏れや詰まりが起これ、最終的には再手術という結果が待っているだろう。そこで、吉成先生は人工血管を生体内に移植する前に特性を評価し、さらには生体に適合しやすい前処理の方法を探ろうとしているのだ。

人工血管＝人工物＋細胞

「たとえば、これはペットボトルと同じ素材です」。見せてくれたのは、実際に使われている製品だ。ポリエチレンテレフタレート(PET)でできており、曲げてもつぶれないように蛇腹状に加工されている。よく使われている素材は、PETかポリテトラフルオロエチレン、いわゆるテフロンだという。意外と身近な素材で

つくられている人工血管だが、かたちを加工したらそのまま患者のからだに移植するとは限らない。たとえば以前は、予備処置として患者の血液に浸していた。その目的は2つあり、ひとつは血液の漏れを防ぐために事前に血液成分で小さな隙間を埋めておくこと、もうひとつは血液成分で覆い、体内に入れたあとで生体膜層の成長を促進することだ。生体を構成する細胞は必要に応じて移動し、組織を再構成している。人工物でできた筒を血管につないだときも、適切な処理をしておけば内側や外側を内皮細胞や線維芽細胞が覆い、まるで生体血管の一部になるのだ。

大雑把にいうと、人工血管の性能は、血液の漏れを防ぎ拍動の力に耐えるための構造と、生体膜の成長を促進させるための表面処理という2点で測ることができる。強度が高くても、細胞層がなかなか形成されなければ、力を受け続けるうちにどんどん伸びてしまい、弾力がなくなっていく。しっかりした細胞層が形成されれば、その接着力により血管はしなやかな強さを持つようになる。あらかじめ体外で培養した細胞を定着させておき、その後体内に移植するという方法も研究されているが、血圧に相当する力をかけると細胞層をはがれてしまうという問題がある。そのため、細胞層を速やかに誘導するための処理方法は、重要な研究テーマなのだ。

すべてのデータに意味がある

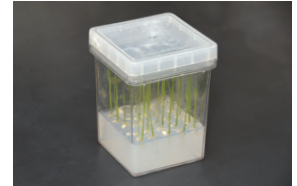
拍動を受けたときに人工血管がどのような動きを示すか、そして細胞がどのように移動し定着するか。2つの性質を総合的に評価し、向上させていくために、吉成先生の研究室では学生がグループに分かれて研究を行っている。人工的に拍動を再現する装置を使っ

て体外で負荷をかけ、強度や弾力などの性質がどう変化していくかを調べているグループ。そして体外で培養した細胞を効率的に定着させる方法を探るグループだ。それらが力を合わせて、さまざまな素材や処理法について性能を測定し、ひとつひとつデータを積み重ねていく。その先に考えているのは、人工血管の製品評価と新規開発だ。体外試験の実験データベースをつくることで、体内に移植した後の人工血管がどういう状態になっているかを判断するのに役立てることができる。さらにそれらの知見を溜めていくことで、体外試験の段階で、どの程度生体に適合するかを事前評価もできるはずだ。そうすれば、新しい製品の開発にもつながるだろう。

実験をしていて、予想を裏切る評価結果が出たときこそおもしろい、と吉成先生は言う。「なんでこういう結果になったのかというのを考えていくと、新しい人工血管につながる知見が得られるんじゃないかなと思うんです」。だからこそ学生には、思ったような結果が出なかったときにも「失敗した」と簡単には思わないでほしいという。「それは新しいデータがひとつ増えたということですから」。予想外のデータを土台にして、どうやって次につなげるかというアイデアを考えることが、研究の醍醐味なのだ。「うまくいかないのが楽しい」。そう思ってもらえれば一番と、吉成先生は笑いながら話した。

植物の生きる力を解き明かす

「生物」と聞くと、動物や昆虫、魚介類など動くものを思い浮かべる人が多いだろう。しかし、植物もその仲間。移動できない彼らも、周囲の変化に対応して進化を重ねて生きてきた。さまざまな環境の中で植物はどのように生き抜いてきたのか、宮本先生の研究は、そのメカニズムを明かそうとしている。



宮本 皓司 みやもと こうじ

2007年、東京大学農学部生物生産科学課程生命化学専修卒業。2012年、東京大学大学院農学生命科学研究科応用生命工学専攻博士課程修了。

日本学術振興会特別研究員DC、東京大学生物生産工学研究センター特任研究員、帝京大学理工学部バイオサイエンス学科博士研究員を経て、2018年4月より現職。

研究テーマ：環境ストレスに対する植物の防御応答メカニズムの解明
キーワード：植物、ストレス防御、植物ホルモン、二次代謝産物

植物はどのように生き抜いてきたのか

高校の授業の中での生物では、微生物や動物に関する内容が多い反面、植物に関してはサラッと流されて終わったのではないだろうか。また、家庭でのガーデニング、園芸部や農業高校などに緑がなければ、あまり植物と触れ合うこともない。

道を歩けばいたるところで草木を目にする機会があり、自然環境の保護といえば真っ先に緑を守るイメージが浮かぶのに、我々は意外に植物のことを知らないし、知る機会もそれほどない。

「でも、わかってくるかと本当におもしろいですよ。植物が身を守り成長するためのしくみは、動物とはまったく異なっていて、興味が尽きません」と語る宮本先生。植物がストレスを受けた際にどんな反応をするか、またそれはどんなしくみで起き、どんな結果をもたらすのか、といった研究を続けてきた。

「陸生植物は約5億年前に出現したといわれていますが、環境や気候に応じて進化を重ね、花が咲いて種子で増える植物は1億年ほど前に誕生しました。その後地球の環境はどんどん変化してきていますが、植物はそれに対応して生き残ってきました。どうやってこれまで生き残ってこられたのか、遺伝子の機能から解明したいと思っています」。

動物は環境が変化すれば、移動することで対応できる。しかし、植物はいったん根を下ろしたら、ずっとその場所で生きていくことになる。気温、日照、乾燥、水、湿度、土壌など、あらゆる変化に対応しなければならない。また、昆虫や動物に食べられたり、細菌やカビなどの病原菌に侵される危険もある。それらに対応するメカニズムを機能させているからこそ、そこで生きていられるのだ。道端の雑草も、何億年、何千万

年という気の遠くなるような時間を経て進化・淘汰されてきたのだと考え、生命の奥深さを改めて感じざるを得ない。

植物の知られざる機能を探求していきたい

先生が研究に用いているのは「日本晴（にっぽんばれ）」という品種のイネだ。イネは農学や生物学で植物の研究を行う際によく用いられている。特に、穀物の中ではゲノム（遺伝情報の全体）のサイズが小さいため、遺伝子の機能を探るのに適している。

「日本晴はゲノムが解読されている品種です。ゲノム配列がわかっていると、ストレスを受けた場合に、イネの遺伝子がどのように反応するかを一度に調べることが出来ます。イネがストレスを受けると、何百、何千という遺伝子が反応します」。

先生は特に「転写因子」というタンパク質に注目している。転写因子はゲノム上において、遺伝子の転写をオンにしたり、オフにしたりする働きを持っていて、1つの転写因子によって時には100～1000もの遺伝子がコントロールされている。植物はこの転写因子を、動物よりも数倍多く持っているといわれている。

「1つの転写因子がたくさんの遺伝子をオンにすることで、さまざまなストレスに対抗します。転写因子は、周囲の環境の変化に対応するスイッチみたいな役割を持っています。植物は転写因子の組み合わせを使い分けることによって、さまざまなストレスに対抗することができるのです。ストレスがかかっていない時は、必要がない遺伝子をオフにする転写因子もあるそう。私たちの想像以上に精密で高度な機能を、植物は備えている。

「どちらかというといネは、人が守らないと育たない

ようなイメージを持たれるかもしれませんが。しかし、病原菌に対抗する抗菌性の物質を作ったり、周囲の雑草の生長を抑える物質を根から出したり、害虫に対する毒や嫌がる匂いを出すなどの防御機能を備えていることがわかっています。そうでなければ、今まで生き残ってくることはできなかったでしょう」。イネが栽培化されたのは約1万年前といわれているが、そのはるか前からイネの祖先は自らを守るすべを獲得していたのだ。

「今後はゲノム編集（遺伝子操作）などの最新の研究手法や技術を取り入れて、植物の持つ機能をさらに深く研究していきたいと思っています。いつかはこれまでの常識をくつがえすような発見をしたいと思います」。

植物本来の力を高める研究で農業に貢献したい。そしていずれは、教科書を書きかえるような発見をしたいと、先生の夢は広がる。ここ宇都宮の農業にも役に立ちたいと、意欲に燃えている。