

質問回答(前半)

矢野 浩之 (生存圏研究所 教授)

今井 啓雄 (ヒト行動進化研究センター 教授[副センター長])

工藤 洋 (生態学研究センター 教授)



【司会】 これより、本日午前の部に行いました講演につきまして、皆さまからいただきましたご質問を元にお答えする、質問回答を始めさせていただきますと思います。ご質問につきましては、お時間の都合上、全てにお答えすることができないため、あらかじめ選出をさせていただきますので、どうぞご了承くださいませ。

それでは、本日午前の部にご講演いただきました先生方にご登壇いただきましょう。生存圏研究所・矢野浩之先生。ヒト行動進化研究センター・今井啓雄先生。生態学研究センター・工藤洋先生、どうぞよろしくお願いいたします。

本当にたくさんのご質問をいただきまして、ありがとうございます。スタッフ、先生方を含めまして、本当に選ぶのにお時間がかかったんですけれども、ご紹介させていただきます。

先生方、順に質問を読ませていただきますので、よろしくお願いいたします。

まずは矢野先生からご質問に答えていただきたいと思います。どうして木から作ろうと思ったのが車だったんでしょうか。

【矢野】 大学は研究室という単位があるんです。そこで長いこと同じテーマを継続してやっていくことがあるんですが、私の研究室は私で3代目で、今年で60年になります。ずっとやって来たことは、木材の分子のレベルから目に見える年輪までの構造と、強度とか弾性的

な性質との関係の解明です。

その中で、性質を説明する上で常にセルロースナノファイバーが主役だったんです。私が3代目になったときに、それをどういうふうに次に展開するかを考えなきゃいけない立場になったときに、エッセンスだけを木材から取り出して、優れた性質で物を作ってみようと思ったときに、一番分かりやすいのが車だったんです。軽くて強いという性質を活かすのに、携帯のケースとか、建築の材料とか、いろいろあると思ったのですが、分かりやすいのが車だった。そういうことで、車用の材料として開発して、いつかは必ず車に載せてみようと思ってやってきました。そういう経緯があります。

【司会】 同じように、木材に至った発想が、いつごろ、どのようなことから生まれたのでしょうか、というのに共通するということでしょうかね。

【矢野】 はい、そのとおりですね。

【司会】 ありがとうございます。

それでは、お隣にまいりたいと思います。今井先生へのご質問でございます。子どものときにはビールを苦く感じましたが、大人になるとおいしくなりました。どのように理解すれば良いのでしょうか。

確かに、おいしいです。いかがでしょうか。

【今井】 はい、ありがとうございます。

似たような質問が何人かありましたけど、高校生の皆さんはまだビールの味が分からないと思うのですが、遺伝子自体は変わらないんです。遺伝子は変わらないけれど、それをどのように使うかというところは、年齢によって違ったり、さっき工藤先生のお話にあったヒストン、あるいは、後ほどクロマチンという話が松本先生のところで出てきますけれど、そういう遺伝子がどう変わるかというところは、年齢や、体調、いろいろなところで変わってきます。そういうものが1つ変わる可能性だということと、もう1つは、どのように認識するのかということで、苦いけど毒じゃなくておいしいと思えるようになるように、人間の脳のほうが進化してきた、そういう可能性もあると思っています。

以上です。

【司会】 はい、ありがとうございました。

それでは、工藤先生へのご質問でございます。こちらと同じ内容の質問がたくさんございますので、まとめさせていただいて、この方の質問でございます。

アブラナ科以外の植物でも同じメカニズムであるといえるのですか。

【工藤】 ありがとうございます。

非常に重要な質問で、まずこの質問を明らかにするためには、いろいろな植物で記憶のメカニズムの研究を進めないといけないんですけども、現在分かっていることでいいますと、例えば、アブラナ科からかなり離れた植物で、コムギという植物で、冬の長期の低温を経験して初めて出穂する性質を持っているんですけども、その植物の仕組みは分かっています。

ちょっとだけ長くなるかもしれないけれども、昔、植物が主要な科に分かれたときは、地球は今よりもずっと温暖で、例えば日本のあたりは亜熱帯でした。なので、日長に対して応答する仕組みは、その前の祖先のときから共有されていて、例えばコムギとアブラナ科でおおよそ一緒なんです。ところが、主要な科ができてから、季節が後からできたんで

す。冬がやってくる、冬越しをしないとイケないということが。

なので、それぞれの植物の科で、独立に冬を覚える仕組みが進化したことが予想されます。実際にコムギとアブラナ科で比較すると、アブラナ科の FLC にあたる役目を果たしているのは、コムギでは違う遺伝子です。ただ、共通している点があって、ヒストン修飾を使って気温を長期に記憶する点は共通しているので、独立して進化が進むときに、特定の機能を使って記憶をしようということが何回も起きている可能性があることが、今分かっていることです。

今後、恐らく研究が進んでいって、温帯には冬を越して初めて咲くような植物はたくさんいますから、その植物の仕組みが分かってきたときには、きっと共通性と多様性の両方が明らかになるのではないかと考えております。

【司会】 はい、ありがとうございます。

さあ、2 つ目の質問にまいりたいと思います。矢野先生へのご質問です。昨今の環境活動に挙げられるように、木材など、植物を活用することに否定的な風潮があるように思います。もちろんバイオ素材を活用することもあると思うんですが、どのような転換を得て、バイオ素材の活用をすることがいいのでしょうか。

【矢野】 植物、特に樹木を使うことについて、最初に整理をしておかなければいけないのは、天然林なのか、人工林なのかです。人工林は、人間が植えて育てるサイクルの中に入っていることをいうわけですが、アマゾンである熱帯雨林とか、そういうのは天然林なんですね。

日本の状況を考えてみますと、先ほど話をしましたように、どんどん人工林で、使っても使っても木材は増えている。その際に、山に置いておけばどんどん人工林が大きくなって大気中の二酸化炭素を吸ってくれるからいいんじゃないかと思いがちなんですが、ところが、樹木は毎年毎年大きくなるんですが、若いうちは二酸化炭素をたくさん食べるんです。同時に、植物も人間と同じように呼吸を



矢野教授

をしていて、二酸化炭素を出すんです。二酸化炭素をたくさん食べる一方で、二酸化炭素を呼吸で出す。そのバランスが、若いうちは吸うほうが多いんですが、年を取ってくると、私たちぐらいの年になってくると、あまり食べなくなる。その代わり、同じように呼吸するから出すようになる。

日本の人工林で何が起きているかというと、この 10 年ぐらいは、森林全体が吸収する二酸化炭素の量は、老齢化が進んでどんどん下がっているんです。ですので、森林にちゃんと二酸化炭素を吸収させる、吸収してもらう機能を持ってもらおうとしたら、ある程度の年になった樹木は伐採して、建築材料とか、今回、車の話をしましたが、車のようなかたちで使いつつ二酸化炭素を固定をする。新しくまた植えて、若い樹木、苗、木に、どんどん、どんどん二酸化炭素を食べてもらう。そういうことが大事ですね。

ですから、木を切っちゃいけないというかたちで人工林を置いておくと、日本全体の CO2

吸収能力が落ちていく。そこに問題があるわけです。

【司会】 木の高齢化、みたいな感じですかね。

【矢野】 はい、仰るとおり高齢化していますね。

【司会】 新たな命をもらって、いいですね。木がうらやましいです。

それでは、続いての質問にまいりましょう。今井先生です。大学4年間で色覚の分子メカニズムのような具体的な研究を思いつく自信がありません。研究テーマについてビビッと来るものなのですか。

【今井】 はい、ありがとうございます。たぶん、高校生の皆さんは、これからどこに進学するかとか、何学部に行くかとか、研究するとしたら何を研究するんだろうと、漠然とまだなかなかものが見つからないと思うんですよね。今、自分が何か疑問に思っていることがあった。あるいは好きなもの。私はサルが好きとか、私はこういうことが知りたいとか、そういうのがあったら、それをだんだん追求していくと、もしかしたら、それが自分の生涯の研究のテーマになってくるかもしれないです。

私の場合は、人間の本質って何なのかなと最初に考えたときに、見ることって大事だな。見るのが大事なんだなという、その研究室を選んだときに、視覚、まさに見ることをしている研究室があって、その研究

室で、これから色覚の研究をやるので君も来ないかというかたちで入って進めました。その中で、これは世界で自分しか見たことのないデータなんだというのがいっぱい出てきて、そこで面白くなって、だんだん、だんだんそこにのめり込んでいった。そういう経緯があります。

ですので、今はほとんど持っていない。僕も高校生のころに、これを研究したいという本当に強いものはないんですけど、それを、自分の進んだところでいろいろな人にぶつけてみて、日本中の大学、京都大学もそうですし、いろいろな研究室もありますので、その中で自分に合った研究テーマを選んでいく。自分が求めたいものをやる。それがなかったら、いつかは自分で研究室を作るんだ、みたいな感じで進めていくといいのかなと思いました。以上です。

【司会】 決めたからには、それをずっとやらないといけないというわけではなくて、途中で変わることもあるんですよ。

【今井】 そうですね。

【司会】 はい、ありがとうございます。

続いてまいります。工藤先生へのご質問です。こちら、同じような質問がたくさんございますので、2つまとめてまいりたいと思います。

なぜハクサンハタザオという初めて聞くような植物を研究対象とされたのか。そして、FLCはどうしたら発見できたんですか。

【工藤】 ありがとうございます。2つ目の質問と1つ目の質問は関係しているんですけども、



今井教授

シロイヌナズナというモデル植物っていわれている植物があります。植物の遺伝子の働きを、1種類の植物に決めて総掛かりで研究しようという時期があったんです。今も続いていますけれども、その対象がシロイヌナズナという植物で、なぜそれが選ばれたかというと、実験室で栽培して2週間ぐらいで花が咲くことができるとか、遺伝子の形質転換ができるとか、ゲノムサイズが小さいので、遺伝子の数を全部数えるのが一番簡単だったとか、いくつかの理由で選ばれているんですね。

そのシロイヌナズナの学名が *Arabidopsis thaliana* といいます。私の研究しているハクサンハタザオは、*Arabidopsis halleri* といって非常に近縁です。なので、全く違う植物を研究すると、1個1個の遺伝子の研究から始めないといけないんですけども、ハクサンハタザオを調べてやると、シロイヌナズナで研究してある程度機能が分かった遺伝子と対応を付けることができます。それがハクサンハタザオを選んだ理由の1つ目です。

2つ目で大事なのは、生態学で、野外でどのようにして適応しているかを研究しているので、自生していることが大事なんですね。自生して、セルフサステナブルで、人間の力を借りずに自分たちでちゃんと種を作って、そこで維持されている。そういう植物を使って仕組みを調べてやれば、環境との関係が、その場所に合ったものとして期待できるので、ハクサンハタザオを選びました。

2つ目の FLC の遺伝子を調べた理由は、花を抑える機能を持っているという最初の研究は、私たちの研究グループじゃなくて、たくさんの植物学者が1つ1つ遺伝子の研究をしていった成果です。研究の手法としては、全ての遺伝子を1個ずつノックアウトする。そういうことをして、それを研究できるストックとして整備して世界中に配布する、そういう仕組みが出来上がっています。

FLC という遺伝子を壊した植物を見てやると、冬を経験しなくても花が咲く。そういうことに基づいて研究がされました。それが FLC の発見になります。

私が FLC を選んだ理由は、今日は説明しなかったんですけど、FLC の冬の発現と、夏の発現の差が 800 倍ぐらいあるんです。そういう遺伝子は珍しくて、2倍とか3倍ぐらいの間を変動する遺伝子は多いのですが、野外研究で初めて測るとなると、差が大きい、反応性の大きい遺伝子を選ぶほうが成功しやすいということで、FLC を選びました。もちろん、機能も考えての上でですけども、これが答えになります。

【司会】 はい、お分かりいただけましたでしょうか。

お時間ぎりぎりまでいただいてよろしいですかね。3つ目の質問に行きたいと思います。

それでは矢野先生、セルロースナノファイバーは、ずばり分解できるのでしょうか。

【矢野】 はい、それがこの材料の本質でもあるんですね。分解できるし、分解します。

今日、3人の午前中の話で共通しているのは、生き物ですよ。植物の先生、動物の先生で、私は植物が作る材料を使うということで。ベースにあるのは、進化になります。

植物に関していいますと、セルロースはたぶん 10 億年ぐらい前に海の中で作られるようになって、そのときからナノファイバーの形でいるんですけど、地球ができたのが 46 億年ですから、かなり早い時期ですよ。陸の上に上がったのが 5 億年前だといわれています。そうすると、5 億年ずっと陸の上にいるということは、何が起こるかということ、樹木とか植物を横で見ている、あれを食べたいと思う生き物もいるわけです。その生き物が進化をしていって、植物、あるいはセルロースを食べられるようになる。ということが

セルロースナノファイバーの本質なんですね。環境の中で分解する。

ただ、一方で、私たち使う側にとっては、それはまだコントロールする技術も持っているんですね。本質的に、地球環境の中で、大きな資源循環の中で存在していて、使う側の人間にとっては、その一部を切り取って、性能を少しコントロールさせてもらえる。そういうことができるのがセルロースナノファイバーであり、ベースになるのは進化。5億年、あるいは10億年というとても長く長い時間をかけて地球環境の中で出来上がってきたシステム。ここにセルロースナノファイバーの本質があると思っています。

【司会】 はい、ありがとうございます。

続いてまいりましょう。今井先生にご質問です。A型の人はB型の人よりも苦みを感じやすいとのことですが、AB型の人は、A型とB型の中間くらいなのですか。また、O型の人はどうなのでしょう。

【今井】 私はAB型なんですけれど、すみません、誤解を招くようなスライドだったんですけれど、あれは苦み受容体、苦みの遺伝子のA型B型なので、血液型のA型B型じゃないんですね。ですので、その誤解を解いておきたかったということと。

ただ、血液型のA型B型も、もしかしたら最近の研究で、腸内細菌の種類が変わる、みたいな話もあって、そうすると、セルロースを分解するのにもたぶん細菌が主だと思うんですけれど、体の中に来た食物繊維を食べて、腸の中で分解するような腸内細菌みたいなものも、実は人間の側の遺伝子とうまく共進化しながら進んでいるんじゃないかな、ということも最近分かってきています。

それが、今やっている腸の中の味覚受容体の研究にもつながってくるかなというところなんです。

【司会】 誤解が解けたようで、ありがとうございます。

それでは、最後の質問になります。工藤先生、これは今井先生にも共通していますね。ずばりまいります。遺伝子で全てが分かるのでしょうか。

では、工藤先生、お願いいたします。

【工藤】 これも素晴らしい質問です。今日はFLCという1つの遺伝子のメッセンジャーRNAの量が、おおよそ過去6週間の気温に沿って変化しているという話をしましたが、今日紹介した研究は、全体をおしなべて見ると、おおよそ6週間で変化していると理解すれば良いという内容でして、実際は、非常にたくさんのタンパク質、酵素、分子、あるいは今日後半で説明したヘテロクロマチン状態を作り出すような複数のメカニズムが絡み合っていて、結果として6週間になっています。

なので、例えば今、私が持っているデータで下がっていく過程と上がっていく過程で記憶の長さを比べてやると、それぞれちょっと6週間よりずれて、片方が短くて片方が長くなったりします。

そこで働いているのは、遺伝子発現だけでなく、例えば、最近1つだけ分かっている



工藤教授

ることがあって、FLC にヘテロクロマチン状態にするために働いている遺伝子の調節について、温度に関係なく一定量常に作り続けるタンパク質を準備しておいて、それに対して暖かいとどんどん成長しますよね。暖かいと細胞がどんどん成長して、寒いと成長が止まる。そうすると、その細胞の中のそのタンパク質の濃度が成長量を表しているんですね。どんどん成長すれば薄まっていくし、あまり成長しなかったら濃いままである。それを使って温度を感知している、そういう研究報告もあります。

遺伝子の発現は、今現在、テクニック上便利なんです。全ての遺伝子の発現をまとめて測る方法が十何年か前に開発されて、それが今、割と簡単にできるようになってきたので、遺伝子の発現を指標にしていますけども、もちろんそれをめぐるタンパク質とか、いろいろな分子の働きの研究が、今後発展していかなければいけない状況にあります。

【司会】 はい、ありがとうございます。研究って面白いですよね。先生方には、後ほどまたパネルディスカッションでお話を伺いたと思います。

どうぞ、拍手でお送りください。先生方、どうもありがとうございました。