

甲南大学 総合研究所報

第74回 総合研究所公開講演会 (オンライン)

「甲南の教員が解説する Nobel Prize2021」

～ノーベル医学・生理学賞～

講師 久原 篤 (甲南大学 理工学部教授)

2021年11月16日 (火) 12:20～12:55 (Zoom 配信)



令和3年11月16日

甲南大学理工学部教授 久原 篤

【久原】本日は、このような発表の機会をいただきまして、誠にありがとうございます。また、発表に参加いただきまして、誠にありがとうございます。甲南大学理工学部生物学科大学院自然科学研究科統合ニューロバイオリロジー研究所の久原と申します。よろしくお願いいたします。

本日は、2021年の医学・生理学賞、熱感と触感の受容体の発見の解説ということで、Some Like It Hot、マリリンモンローのお熱いのが好きという言葉から持ってきました。「熱い！痛い！を感じる仕組み」、そして、異分野融合研究セミナー、「動物の低温耐性の研究における今後の発展に向け」というタイトルで、お話をさせていただきます。

2021年のノーベル医学・生理学賞は、熱や機械刺激を感じる仕組みの解明という内容で、デヴィッド・ジュリアス博士とアーデム・パプティアン博士のお二人が受賞されることに決まりました。

まず初めに、熱と接触刺激について紹介したいと思います。温度、熱や接触刺激というのは、地球に生息する生物にとって、最も重要な環境情報の一つです。

例えば、今年の夏は炎天下で暑かったですね。熱中症などは非常に注意しなければいけません。また、だんだん寒くなってきましたけれども、極寒になると低体温症になる危険性があります。このように温度は身近です。

また、触れたときの刺激という、触ったときの刺激ですね。メカノ刺激や接触刺激というふうに呼ばれています。体内の血管の収縮や膨張といった体の中にも、メカノ刺激、機械刺激というものがありまして、血流や血圧によるメカノ刺激、接触刺激というのは、常に人間が活着している限り、体の中に接触刺激、メカノ刺激というものが存在しております。このようなものが異常になりますと、脳卒中や心臓発作の原因となってしまいます。このように、動物は温度と接触刺激を常に体内で感知しています。炎天下では熱中症に、極寒では低体温症になってしまいます。

触れるときの接触刺激というのは、メカノ刺激というふうに呼ばれていて、このように、触ったときの刺激ですね。接触刺激、メカノ刺激というふうに呼ばれています。また、体内の血管の収縮や膨張などが起きる際に、血流、血圧によるメカノ刺激というのは、接触刺激として、体の中で人間が活着している限り常に起きています。このようなものが異常になってしまいますと、脳卒中や心臓発作などが起きてしまいます。このように、動物は温度と接触刺激を常に体内で感知しています。

17世紀、哲学者のルネ・デカルトは、皮膚の様々な部分と脳が、糸でつながると予想しておりました。足に火が触れると脳に機械的な信号が送られるという仮説です。その後、特殊な感覚ニューロンの存在が明らかにされました。

1944年にノーベル医学・生理学賞を受賞した、ジョセフ・アランガーとハーバート・ガッサーは、触ると痛い、触らないと痛いなど、異なる刺激に反応する、異なるタイプの感覚神経線維を発見しました。以来、指先で感じる表面の質感の違いや、心地よい暖かさや痛みを感じる熱さの違いなど、神経細胞で感知することが次々に見つかってきました。

例えば、分かりやすい例を挙げますと、温度や接触刺激は、末梢神経系などで受容されて、脊髄を通過して脳で認識されます。もちろん、内臓の細胞にも温度を感じるものがあります。例えば、皮膚や神経細胞のところ、皮膚や末梢神経細胞には、温度や接触刺激を感じるタンパク質がたくさんあります。そこで受け取った情報が、神経線維を介して脳の中へ、熱い、痛いといった情報が分かるんですね。

神経細胞ってどのような形、仕組みをしているかといいますと、お星さまみたいに書かれた、これが神経細胞の細胞体だと思ってください。神経細胞の細胞体から、比較的短くて枝分かれの多い、樹状突起と呼ばれる突起

がたくさん出ています。この突起の中に温度や機械刺激、メカノ刺激を感知するタンパク質がたくさんあります。ここで情報が受け取られると、神経細胞の中に、電流が流れるようにして情報が伝わって、細胞体を介して、さらに軸索と呼ばれる、比較的長くて枝分かれの少ない突起を通して、次の神経細胞に情報が伝わっていきます。言うならば、電子回路のようなもので、受け取った情報を脳に伝えるのですね。

今回のノーベル医学・生理学賞の受賞につながった、温度や接触刺激を感じるタンパク質、トリップチャンネル (TRP) やピエゾというのですが、こういうタンパク質は、樹状突起と呼ばれる神経細胞の突起の中に、たくさんあります。樹状突起、これを拡大してみますと、鉛筆の先端みたいになっているのですが、突起を拡大しました。これ、拡大した図ですね。ここにはチャンネルと呼ばれるタンパク質があります。

チャンネルって何かと言うと、分かりやすく言うと、サランラップの芯とか、トイレットペーパーの芯みたいなもので、それが、タンパク質でできているサランラップの芯みたいなものが、細胞膜に埋まっているんですね。温度を感じると、細胞の中に陽イオンを取り込んだりします。また、機械刺激を感じても、細胞の中に陽イオンを取り込みます。こういうようなタンパク質、サランラップの芯のようなタンパク質が発見されたんですね。機械刺激や温度刺激を感じるタンパク質です。これが、トリップチャンネルと呼ばれる温度受容体、メカノチャンネルであるピエゾと呼ばれるタンパク質です。ちょっと分かりやすく紹介しますが、これ、私の授業のレジュメで使っているキャラクターですね。

では、ここからは少し、大学生の方もたくさん参加されていますので専門的な話も少しさせていただきます。

ノーベル財団のプレスリリースの解説をさせていただき、その中から、熱や機械刺激を感じる仕組みの解明について紹介します。

まず、2010年に、機械刺激の受容体、メカノ受容体、ピエゾというのが発見されて、サイエンス紙で報告されました。そのときの原著論文の1ページ目がこちらで、責任著者、最終著者が、アーデム・パタプティアン博士で、今年度ノーベル賞が決まった先生です。

どういう研究から見つかったかといいますと、まず、この細胞、普段機械刺激に反応します。針みたいなものでツンツンとつついてあげると、機械刺激によって細胞膜の電位の変化が起きます。電流が流れるようになります。この電位の変化というのは、この細胞膜の表面に、小型のドリンク飲料の容器みたいなもの、ポコッとほめていような、針のような電極を密接させて、電流の変化を測定します。この細胞が持っている1番目から71番目の遺伝子を、一つずつ機能を低下させていきました。71個の遺伝子の機能を低下させたのですが、つづいたときに、普通のとくと同じように電流の変化が起きました。ところが、72番目の遺伝子の機能を低下させたときに、この細胞の中では、72番目の遺伝子が働かないんですね。この遺伝子の機能を低下させたときに、ツンツンとつづいても、細胞の表面に電流が流れなくなりました。電位が変化しなくなりました。つまり、この72番目の遺伝子、遺伝子72というのが、細胞に機械刺激を与えたときに細胞に電位の変化、電流の変化を引き起こす遺伝子だったのですね。

この遺伝子機能を低下させる方法、RNAi というふうに言うのですが、この72番目の遺伝子、何をコードしているタンパク質であったかという、ピエゾ1、ピエゾ2と呼ばれる、機械刺激を受けとる受容体であることが分かってきました。このピエゾ1、ピエゾ2、通常、機械刺激が起きないときには閉じています。サランラップの芯が閉じている感じですね。ところが、機械刺激を細胞表面に与えますと、ツンツンと与えると、そのサランラップの芯が、パーンと開くように、穴が開くようになって、細胞の中にイオンを流入させることができます。つまり、機械刺激で開く受容体チャンネルというのが見つかってきました。このピエゾ、接触刺激、メカノ刺激を受容する分子、タンパク質であると同時に、深部感覚、固有受容感覚、体の深部において、機械的な刺激により起こる感覚です。

例えば、膀胱において排尿というのは、膀胱が尿をためて膨らむということによって、膀胱の表面にある機械受容体のピエゾが感じて、排尿を引き起こすのですね。例えば、肺の呼吸も、肺の中に、ピエゾ、メカノ受容体チャンネルがあって、肺が膨らむと、その呼吸、収縮するように情報が流れる。血管内部に回って、血圧によって

血管の収縮が制御されていたりします。ほかにも、骨の再形成などにも関わっています。これが、メカノチャネルがノーベル賞を受賞する研究テーマであって、さらに医療などにも使われているという、非常に有用なものであったということです。

次にもう一つ、温度受容体の発見に関して、デビット・ジュリアス博士がノーベル賞を受賞されました。

1997年、カプサイシン、カプサイシンって何かといいますと、唐辛子ありますね、唐辛子は食べると辛くて、その辛くなる成分というのは、カプサイシンと呼ばれる化学物質によって引き起こされるんです。そのカプサイシンを受容する、受容体トリップV1の発見が、ネイチャーのアーティクル紙で報告されました。その論文における責任著者、最終著者が、今年度ノーベル賞を受賞されるデビット・ジュリアス博士でした。

ちなみに、筆頭著者がマイケル・カテリーナ博士といいまして、私、学生の頃から温度の研究をしていまして、ちょうど1998年に、マイク・カテリーナがまだ30代で博士研究員のときに私は4年生だったのですが、以前に所属していた研究室にお話しに来てくれて、お会いしたことがあります。

このカプサイシン受容体、熱を感じる、唐辛子の成分を感じるカプサイシン受容体、どういうふうに見つかったかといいますと、まず、カプサイシンに反応する感覚神経細胞というのを集めてきます。人間でいうと、味覚の舌とか辛みに応答しますね。この感覚神経細胞から、専門的になりますが、メッセンジャーRNAと呼ばれる核酸の一つをたくさん取ってきます。そのRNAを、逆転写反応という反応を起こして、DNAにしてあげます。専門的に言うと、コンプリメンタリーDNA、cDNAというふうに言います。このDNAを、様々な遺伝子のDNAを、カプサイシンに反応しない培養細胞にランダムに入れてあげます。その上からカプサイシンを振りかけてあげます。辛み成分ですね。ほとんどの細胞は、辛み成分カプサイシンをかけても反応しないんですが、ごく一部の細胞で、カプサイシンに反応した細胞というのが出てきます。この反応した細胞をさらに取り出して、その中から最初に入れた遺伝子というのを決めたところ、トリップV1と呼ばれる、カプサイシンを受け取る受容体チャネルでした。このトリップV1、カプサイシンをかけたときにもサララップの筒みたいなのがパカッと開いて、細胞の中にイオンを通すのですが、実は43℃以上の高熱を与えたときにもパカッと開いて、細胞の中にイオンを通すことが見つかってきました。

この発見から、このトリップV1に似たような遺伝子が、様々な、人を含む様々な動物で調べられて、様々な温度域で反応する、サーモトリップと呼ばれるものが発見されてきました。

現在では、高校の教科書、例えば啓林館の生物の改訂版ですが、教科書にも載ってまして、高温や低温などの温度を適刺激として受け取る温度受容体、例えばトリップV1、42℃以上の温度に反応して開く4チャンネルで、トリップV1は、唐辛子の成分であるカプサイシンにも反応しますと。辛い食べ物を食べたときに感じる熱いという感覚は、このために起きているんじゃないかなというふうに言われています。というわけで、辛いもの、熱いものを食べると、皆さんの口の中でトリップチャンネルが活性化して辛い、熱い。

さて、トリップV1の発見、温度受容体、トリップチャンネルの発見において、日本人が多大な貢献をしておりますので、それを少し紹介させていただきます。

ちょうど紹介した1997年、カプサイシン受容体、トリップV1の発見の論文があります。この中で、日本人の研究者、富永真琴先生が共同第二著者として貢献されて、研究を発表されております。富永先生は、現在、岡崎自然科学研究機構の生理学研究所の教授を務められています。富永先生が、このカプサイシン受容体トリップV1が温度を感じることを世界で初めて発見されて、このネイチャーの論文で報告しました。

今回の2021年のノーベル医学・生理学賞の発表に際しまして、重要論文というのがノーベル財団から8本公表されています。その8個の重要論文のうち、二つに先ほどの富永真琴先生のお名前が掲載されております。一つは、富永先生が筆頭著者として掲載している論文。二つ目が、先ほどの論文です。

富永先生は、2015年から2020年まで、文部科学省の科研費の新学術領域という領域で、温度を基軸とした生命現象の統合的理解、温度生物学というのをリーダーとして、日本の温度生物学を牽引されてきました。誠に僭越ながら、私も富永先生のメンバーの中に入って、一緒に温度生物学を進めてきました。

この新学術領域、温度生物学の分野で、2019年に、神戸国際会議場、甲南大学の近くで、シンポジウムを行いました。そのときに講演していただいた3人の演者の方が、一人目が、リンダ・バック博士。リンダ・バック先生は、におい受容体の発見でノーベル賞を受賞されています。お二人目が、今回、温度受容体の発見でノーベル賞を受賞されるデビット・ジュリアス博士。三人目が、オートファジーの発見でノーベル賞を受賞された、大隅良典先生です。実は、リンダ・バック先生以外のお二人は、ノーベル賞を受賞される前にこの講演を引き受けてくださいました。今思えば、今ですと、なかなかこのメンバーで講演をするのは難しいですが、とてもよい機会に恵まれたと思います。この講演には私の研究室のメンバーも何名か参加していただきましたので、とてもいい教育になったのではないかと思います。

ここからはトリップチャンネルに関する専門的な解説を少しさせていただきます。大学レベルの内容を含みます。トリップチャンネルですが、1989年、もともとは、先ほど紹介したトリップV1というのが一番最初に見つかったトリップチャンネルではなくて、もともとは1989年に、ショウジョウバエの複眼で、光を感じられない変異体というのが見つかりました。

甲南大学でも、ショウジョウバエの研究をされている研究室、向先生の研究室がごさいます。ショウジョウバエの複眼、目で光を感じられない変異体というのが見つかって、光に対して一時的、トランシェントにしか細胞が電流を発しない、受容器電位、リセプターポテンシャルが生じないことから、その頭文字を取って、TRP、トリップ変異体と名付けられました。トリップ変異体の原因となる遺伝子変異を見つけたところ、新しいイオンチャンネルの遺伝子に変異があったため、トリップチャンネルという名前が付けられました。ということで、もともとは、ショウジョウバエ、ハエの研究からトリップチャンネルというのが見つかったのですね。

このように、基礎研究が将来的に人間の医療につながるような研究に発展するという事は珍しくありません。先ほどのショウジョウバエのトリップチャンネルが見つかって、その後、温度を感じる温度感受性トリップチャンネルが、人間などでも見つかってきました。

先ほど紹介した、カプサイシンを受けとる、熱を受けとるトリップV1だけでなく、メンソールと呼ばれる、シップとかガムとかに入っている冷たいという感覚を受けとる化学物質、メンソールを受け取り、かつ冷たい温度も受けとるトリップM8。ほかにも暖かい温度を受け取るトリップチャンネルというのが多数知られています。先ほど紹介したように、温度感受性トリップチャンネル、サーモトリップチャンネルというのは、感覚神経細胞にも存在するのですが、脳や神経細胞以外にも実はたくさん存在してまして、肺とか肝臓、脾臓や大腸などにも、温度を感じるトリップチャンネルというのは存在しています。

このように、トリップV1の発見から、温度や熱による痛みを感じる仕組みというのが分かってきて、このトリップV1というのは、深部温度、体の中の温度や、あと炎症、熱や風邪を引いたときに炎症反応が起きますね。その炎症による痛み、神経因性の痛み、内臓の痛みや防衛反射などにも関わってきておりまして、それに関わる創薬などの研究につながっており、それがノーベル医学・生理学賞の対象となりました。

例えば、トリップM2と呼ばれるトリップチャンネル、これはマクロファージにもありまして、感染が起きると体温が上昇しますね。マクロファージにあるトリップチャンネルというのがイオンを通しやすくなって、免疫機能が增强するのではないかというふうに言われています。このように、トリップチャンネル、神経細胞以外にも存在しています。ちょっと難しかったかもしれませんが、この生物学科の大学生の方も聞かれていますので、紹介しました。

ここからは、異分野融合研究セミナー、「動物の低温耐性の研究における今後の発展に向け」をもう少し紹介します。ここまで、熱いを感じる仕組みを紹介しましたが、実は、生体と温度の関係には分かっていないことが、まだまだたくさんあります。

例えば、現在の課題として、移植医療のための臓器の低温保存などが挙げられます。例えば、iPS細胞でできた、移植をするための臓器がありますね。なかなか長期保存できないのです。シンプルに長期保存する方法として、低温で保存するような方法などが現在課題になっています。細胞を低温で保持する方法ですね。あと未来

の課題、SFのような話になってしまいますが、難病治療のための低温延命や、例えば、まさにSFですが、惑星間移動のための生命のコールドスリープ。このようなことが、比較的真剣に、世界中で、研究がこれから行われようとしています。

一方で、人間の細胞37兆個ありまして、人間を対象とした研究は、なかなか大変な時間がかかります。そこで私の研究室では、シンプルなモデル動物である線虫シー・エレガンスを使って研究を進めています。

シー・エレガンス、雌雄同体で体長が1ミリで土の中に住んでいる非寄生性の線虫です。透明ですので、蛍光タンパク質などを使って解析が容易です。体が約1,000個の細胞で構成されており、そのうち、302個が神経細胞です。シンプルで解析しやすく、生きたまま体内の細胞を観察できます。シンプルなのですが、遺伝子は約2万個あります。この遺伝子の数は、人間が持っている遺伝子の数とおおよそ同じぐらいで、人と同じ遺伝子をたくさん持っていて、医学の発展にも役立っています。

例えば、線虫の研究からノーベル賞を受賞された方が6名おりまして、プログラム細胞死の発見、RNA干渉法の発見、GFPの発見と応用。ほかにも、マイクロRNAの発見や相分離と呼ばれる現象。最近、サイエンスの分野でかなり精力的に研究が進んでいる相分離の発見も、線虫でした。あと、ヒトゲノムプロジェクトも実は線虫の研究者がリードしてきました。

このように、線虫から人まで共通したメカニズムが分かってきています。私はこんな研究室をもつ前に、線虫シー・エレガンスの温度に対する走性を使い、温度関連分子を単離してきました。

シー・エレガンスを一定の温度でえさの存在する条件で飼育すると、えさのない17℃から25℃の温度勾配上で、飼育温度に向かって行動します。この行動に異常をもつ、変異体線虫っていうのをたくさん取ってきたのです。その異常の原因の遺伝子を調べたところ、温度の情報が、人の視覚や目とか鼻と同じような仕組みで、3量体Gタンパク質というタンパク質を介して伝達されていくというのが分かってきました。神経細胞において。

ところが、この3量体Gタンパク質自体は温度を感じませんので、その上流に温度を感じるタンパク質があるというふうに想定していたんですが、行動解析に時間を要して、その温度を感じる受容体を発見するには至りませんでした。約10年かけたんですけども。

そこで、甲南大に赴任してから、ハイスループットな実験系を使って、神経の温度受容体というのを探したいと思いました。そのときに偶然見つけた現象が、低温耐性と呼ばれる現象です。これは、例えば25℃で飼育した線虫を2℃に置くと死んでしまうのですが、15℃で飼育した線虫は、2℃でも生き残るという現象です。

例えば、夏の暑さに慣れた私が、とても寒い北極などに行きましたら、体調が悪くなってしまいますね。ところが、最近少しずつ寒くなってきましたので、寒さに体を慣らしておく、より寒いところに行っても、きっと大丈夫だろうという現象です。さらに、この25℃で飼った線虫を、わずか3時間15℃で飼うことで、2℃でも生存できるようになりました。つまり、体内の温度メモリーが、温度の記憶が、わずか3時間で置き換わるということが分かってきました。

この記憶に関わる遺伝子として、頭部の温度受容ニューロンで働く、カリウムチャンネルなどが見つかりました。これらの研究は、当研究室の研究員の太田茜さんや、大学院生であった宇治澤 知代さんや、カリウムチャンネルは、大学院生であった岡畑 美咲さんが発見されました。

これまでに、線虫の低温耐性に関わる組織や細胞遺伝子が少しずつ分かってきました。頭部にある三つの感覚ニューロン、ASJ、ADL、ASGというのが温度を感じる事が分かりました。この感覚ニューロン、温度を感じると、シナプスと呼ばれる場所からインスリンやステロイドホルモンというのを分泌して、腸でそれを受け取って、遺伝子発現を介して低温耐性を調節していることが分かりました。さらに、この腸が、精子に働きかけて、この精子が固体の低温耐性に関わる事が分かりました。さらにおもしろいのが、この精子が、頭部のニューロンを調節しているのが分かりました。末梢の生殖細胞が、脳を調節しているようなイメージですね。このように、温度応答解析のハイスループットの実験系を確立することができました。

ここにある論文というのは、全て甲南大の学生さん(太田先生は研究員)が筆頭著者として成果を上げました。

一方で、温度受容体というのは、まだここでは余り紹介していませんでした。実際、最初は見つかっていませんでした。

ところが最近、温度受容体が少しずつ見つかってきて、例えば、昨年度大学院博士課程を卒業した大西 康平さんが、線虫においても、このトリップチャンネルが温度を受容していることをまず見つけました。ところが、このトリップチャンネル、通常の温度受容体型のトリップチャンネルよりも、温度に対する反応性というのが、10分の1以下しかなかったのです。いろいろ調べたところ、このトリップチャンネルの上流で働く新しい受容体が、温度を受容するということが見つかっていました。この受容体が、直接的な温度受容に関わる初めてのケースとして、大西さんが今、論文を書こうとしています。さらに、この新しい受容体が温度を受容して、その情報が、このトリップチャンネルの温度を受容する力を増強させるのではないかという仮説を立てています。

トリップチャンネルに対する薬というのは、実は、発熱の副作用というのがあるため流通していないのですが、もし、この新しい温度受容体に働くお薬など見つけたら、新たな解熱剤などの開発につながるのではないかなと考えています。

さらに、人における新しい温度受容体というのを、一昨年博士課程を卒業された高垣菜式さんが発見しました。線虫の研究から、人の新しい温度受容体を発見することになりました。このチャンネルタンパク質は、DEG/ENaCと呼ばれる機械受容体、接触刺激を受容するチャンネルとして知られていました。これが温度を感じて、イオンを通して神経細胞を働かせることで、体の低温耐性を調節するというのを高垣さんが線虫で見つけました。さらに、人にもこの線虫と同じ遺伝子があって、MDEGといいます。このMDEGも、温度受容体として働くことを高垣さんが見つけて、人の生体調節にも関与しているのではないかということで注目を浴びています。

高垣さん、2020年度にロレアルユネスコ女性科学者日本奨励賞を受賞しまして、甲南大からはその一年前の岡畑美咲さんに続いて、2年連続の受賞となりました。ちょうど11月4日に高垣さんの授賞式がありまして、その動画が届きましたので、高垣さんの受賞の模様を紹介します。11月4日にフランス大使公邸で、高垣さんのロレアルユネスコ女性科学者日本奨励賞の授賞式が行われました。

このように、線虫を使った温度に関わる研究というのは、甲南大学が先導しておりまして、その中でも、甲南大の学生さんが積極的に研究発表をしています。甲南大生すごいということで、some like it coolですね。

それぞれの学生さんがこのような学術賞を毎年のように受賞されて、論文を発表されています。学生さん頑張っている感じがします。

異分野融合研究ということで、最後に少し紹介します。線虫の研究から見つかった、低温耐性の制御に関わる遺伝子がたくさんあります。線虫以外の生物として、動物や植物やマウス、人の培養細胞で遺伝子改変した際の低温耐性も調べつつあり、とても興味をもっています。人に関してそれらの遺伝子の多型、スニップと生理学的役割にも興味をもっています。低温耐性を強くする化学物質を見つけるケミカルスクリーニングというのも行っています。神経活動の光測定のための顕微鏡デバイスを開発しています。新しい技術を生物で確かめる際に、線虫は透明で使いやすいです。

このような様々な側面から、異分野融合の研究など、アイデアがございましたら、ぜひ、私からも御連絡差し上げたいと思いますが、御連絡くだされば幸いです。また、物理や化学の学生さんを大学院から受け入れたことも実際にありますので、そういうような教育に関わることにも興味をもっております。

以上の研究は私の研究室、今年20名近くが頑張っていて、おもしろい研究、教育成果というのを、ぜひこの甲南大、神戸から世界へ発信できればと思います。熱意ある学生、大学院生さんというのは、甲南大に限らず、皆さん応援しています。何より研究楽しいと思いますので、ぜひ楽しめればと思います。

以上、御清聴ありがとうございました。

【司会者】久原先生、どうもありがとうございました。

それでは、御質問を受け付けたいと思います。Zoomの方も。どなたかいらっしゃいますか。

【質問者】すみません。途中で熱受容体でしたっけ。温度を・・・書いてあったんですけど、中で50何℃とか

ってあったんですけども、生物の中にあるのに、何で50何°Cで反応するのかちょっとよく。普通生きられないですよ。何でかなと思って・・・ですけど。

【久原氏】はい。実際人間50何°Cのところでは、ずっといたら生きられないんですけども、実際に砂漠で生きているトカゲとか生物の場合、50何°Cのところでは生息しているものも生物としてございます。ですから、そういうような極限的な環境ですね、高温化とか低温化で生物が生存するために、進化の過程で、そのような温度を感じる温度受容体というのをもっているのだというふうに考えています。

【質問者】ありがとうございます。

【久原氏】ほか、何かございましたら何でもどうぞ。

なければ、ちょうどお時間ぐらいですから、よろしいですかね。

【司会者】それでは、ちょうどお時間となりました。

本日は久原先生、どうもありがとうございました。もう一度拍手をお願いします。

【久原氏】ありがとうございました。失礼します。

— 了 —