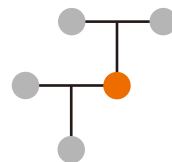




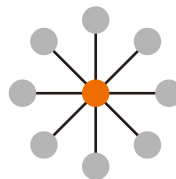
あなたとわたし



家族とわたし



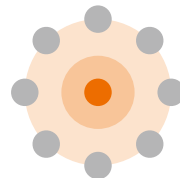
仲間とわたし



役割を担うわたし



わたし=わたしたち



東京日本橋にある『分身ロボットカフェ DAWN ver.β』では、さまざまな理由で外出することが困難な人が、パイロットとして分身ロボットOriHimeを遠隔操作し、スタッフとして働いている。【Talkより】
撮影：川本聖哉

今号テーマ

わたしたちの中の「わたし」

私は一人では生きられません。生きものとして人間として、社会の一員として生きています。その始まりは「あなたと私」。同種の個体が集まるだけでなく、個と個が関わり合い、生きのびてきたのです。個体をそれぞれ記憶し共感する脳の働き、生まれて最初の他者である母親とのつながり、アリをモデルにした個と集団の行動の研究から考えます。中村桂子名誉館長とのトークは分身ロボットで孤独を解消する吉藤オリイさん、サイエンティストライブラリーは生命をコンピュータにモデル化する金久實先生。共通するのは、人が自ら参加し紡ぐ理解は、AIに勝ること。「私たち」がつないだ生命の知恵です。

もくじ

TALK

AIじゃないロボット

“今”に生きるためのテクノロジー

吉藤オリイ 分身ロボット研究者

中村桂子 JT生命誌研究館名誉館長

RESEARCH & PERSPECTIVE

わたしたちの中の「わたし」

RESEARCH

ロボットで探る母鶏とヒナのコミュニケーション

新村 毅 東京農工大学農学部 生物生産学科

10匹か？ 1匹か？
集団で生きることの意義

古藤日子 産業技術総合研究所 細胞分子工学研究部門

SCIENTIST LIBRARY

金久 實

京都大学特任教授

有限会社パスウェイソリューションズ取締役

生命システムをデータベースに描く

PAPER CRAFT

絶やすのはたやすい消えた動物

ドードー

JT生命誌研究館

BRH NEWS

見えない小さな世界を
メタバースで体験！



AIじゃないロボット

“今”に生きるためのテクノロジー

吉藤オリイ

分身ロボット研究者



中村桂子

JT生命誌研究館名誉館長



CHAPTER

1. AIじゃないロボット

3. 人が動かしているから、動いてる

5. 寝たきりの先輩

7. アーカイブ人類

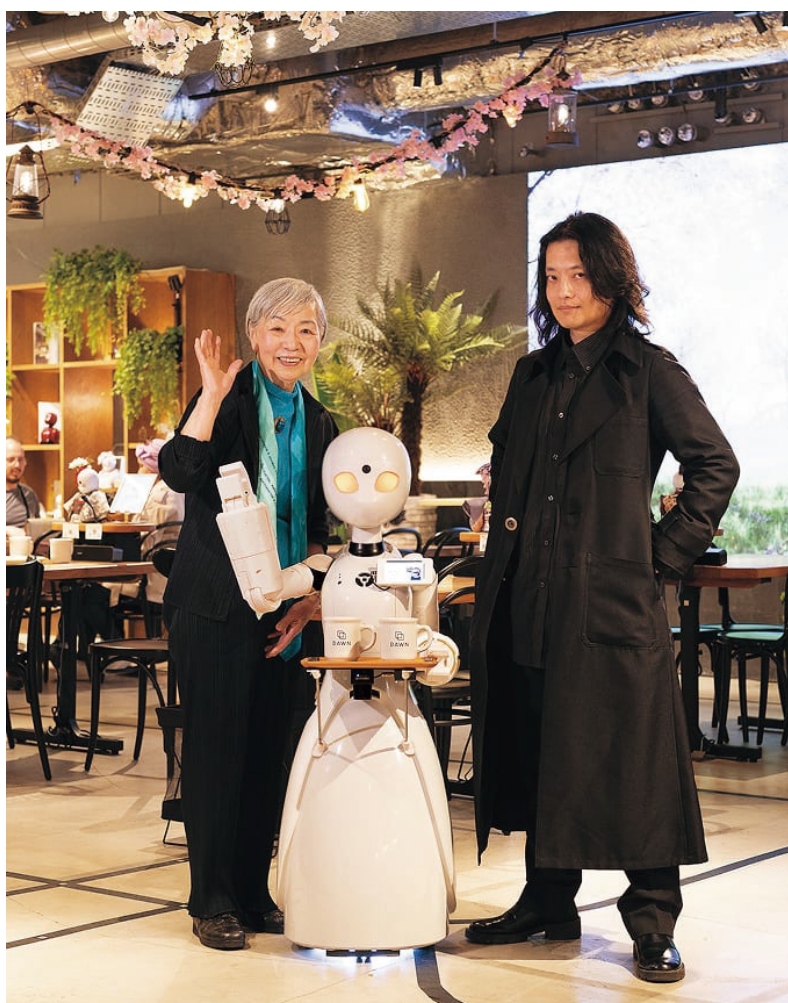
2. 孤独な状態からの脱却方法

4. “能面”としてはよろしくない

6. 運任せではない出会い方

5. 生きるって、今

東京日本橋にある『分身ロボットカフェ DAWN ver.β』では、外出することが困難な方々が分身ロボットを遠隔操作しサービスを提供しています。ここで、分身ロボットの開発者である吉藤オリイさんと中村桂子名誉館長が、テクノロジーを通して見えてきた人間の可能性について語り合いました。



1. AIじゃないロボット

中村 こちらの分身ロボットカフェを開いたのはいつごろですか？

吉藤 この店は今から3年前、2021年の6月にオープンしました。その前に、2018年に別の場所を実験的にスタートしています。当時、遠隔操作のロボットがカフェで接客をするなんて、誰にも理解してもらえませんでした。会社の同僚も「なにを言っているの？」という反応で。「誰もが寝たきりでも働けるカフェ」という構想に、耳を傾けてくれるスポンサーもありませんでした。

中村 このような形で動かすことで、できることのイメージを具体として見せるのは大事ですね。



吉藤 新しいことって、初めは誰もわかってくれないものだと思います。おそらく私も逆の立場であれば、他人の頭の中にあるものってイメージができないと思うんです。反対にイメージができる人は、多分かなり変な人です。

中村 私は、変な人なのかな。アイデアを聞いて「面白い！」って思う時が一番楽しい。

吉藤 世の中のあらゆるサービスを作ってきた人は、自分にしか見えないものが絶対にあります。それを人にプレゼンしても基本的に理解はしてもらえないし、誰もお金を出してはく

れない。その中でどう実現していこうかともがきながら、2010年にOriHimeというロボットを作りました。あの頃も「AIじゃないロボットは、ロボットじゃない」と言われました。

中村 外のポスターにも書いてある「Ain't AI」という表現に「おっ」と思いました。

吉藤 いいでしょう。日本語だと「AIじゃねえぜ」でしょうか。

中村 最高です。とてもおしゃれだし。今の社会に対するメッセージとして、大事なことを見事に表現していますね。

吉藤 仲間たちと一緒に考えた言葉です。愛・地球博(2005年)の頃からロボットにはAIが搭載されていましたし、ASIMOくんPepperくんが次々現れてくる中で、我々は日陰でやってきました。人が遠隔で操作するロボットは、テクノロジー的に最先端ではないと言われていました。

中村 AIを全否定はしませんが、AIは人間がこれまでにやってきたことだけから結論を出そうとするでしょう。けれど現実には、やってこなかったことや分かっていないことのほうがはるかに多い。AIよりもオリィさんのやっていることの可能性の方が大きいと思うの。

吉藤 もともと孤独とは何かという問いからスタートしていて、孤独を解消しようというのが我々の研究テーマなんです。そもそも私、人と会話をするのが苦手で、嫌いで。10代の頃は本当に友達が少なかったんです。「出会い方」や「接点」を作りたいのであって、あまりロボットを作っているつもりはないんです。

中村 接点を求めたからこそその姿がOriHimeなんですね。あの形や動きにその思いが込められていると感じます。

PICK UP

分身ロボットカフェ DAWN ver.β

株式会社オリィ研究所が運営する常設実験カフェ。さまざまな理由で外出することが困難な方々が分身ロボットを遠隔操作しスタッフとして働いている。2025年現在、70名を超える個性豊かなメンバーが日本国内外から勤務している。

〔住所〕 〒103-0023
東京都中央区日本橋本町3-8-3
日本橋ライフサイエンスビルディング3 (1F)

〔最寄駅〕 ●東京メトロ日比谷線：小伝馬町駅 徒歩4分
●JR総武線：新日本橋駅 5番出口すぐ
●東京メトロ銀座線：三越前駅 徒歩7分
●JR山手線：神田駅 徒歩10分



公式WEBサイト



2. 孤独な状態からの脱却方法

中村 オリィさんは人とのつながりをすごく求めていらっしゃるし、大事にされていますね。

吉藤 ええ、あまりにも。不登校だった3年半の間、すごく孤独を感じたんです。ロジカルに考えた結果、自分がない方が家族は幸せだとまで思ってしまった。死を選ぶ人の気持ちがわかるほどに辛かった。

中村 いくつぐらいの時ですか？



吉藤 12、13歳の頃です。それで孤独な状態からの脱却方法の研究に興味があって。20年くらい前は「ゲームばかりしていて将来大丈夫か？」と言われるような時代でしたが、私にとってゲームは一つのセーフティネットだったんです。絵本を読むのと同じで、ゲームをやっている時だけは物語の中に入って、心を逃がせる。すごく大事なことでした。人間が怖くて居場所がない私も、なぜオンラインゲームなら友達ができこんなに社交的になれるんだろうかと。その感覚がすごくヒントになっているというか。

中村 そういう状況から、新しい形を考える方へと展開した例として、悩んでいる若い人を心強くさせますね。

吉藤 クラスの仲間と一緒に勉強したり、ドッジボールをしながら友達をつくることはできなくても、インターネットのオンラインゲームだと友達ができるし、チャットで会話することもできました。つまり私は人間が苦手なのではなく、単純に仲良くなるための「自分に合った方法」がないだけだと気がついた。私たちは進化の過程で現在のようなデザインの身体

で生きているけれど、これが一番友人を作りやすいデザインかといえば、きっとそんなことはない。もっと人と出会いやすいインターフェースがあるかもしれない。もともと体も弱くて、入院したことをきっかけに不登校になったんですけど、その頃から、もう1つ体が欲しいと思っていました。学校に自分の分身がいて、ロッカールームからガチャッと出て、最後はガシャンッとロッカールームに自分の体をしまっけて鍵をかけて。意識をパンッと戻せば、家のこたつにいる自分がむくっと起き上がるみたいなことができたらいいのについて。小学生の妄想ですけど。

中村 なるほど。今につながりそうな可能性がみえますね。

吉藤 不登校がしばらく続いたあとで、工業高校でいい先生と出会えたんです。出会って、ものすごく大事だと思っていて。出会うことで人は変質する、というのが私の仮説なんです。不登校のきっかけは入院だったので、車椅子があったら学校に行けたんじゃないだろうかと考え、工業高校では段差を上れるかっこいい車椅子を作る研究をしていたんです。いくつかの賞をいただき、先生たちからも「君は研究者に向いているよ」と言われて。そこからまたいろんな出会いがあって、高校3年生の時に「孤独の解消」を人生の研究テーマにしようと。この研究をするために生まれてきたと自分を錯覚させることで、生きる理由、自分自身が死なない理由ができました。

中村 オリィさんは常に人間を見ているし、鋭い感受性を持っている。それなのに、人が苦手なで話すのが嫌いというところが興味深い。

吉藤 怖いんですよ、人が。人間の複雑性が当時はまったく受け止められなくて。子どもの頃は膨大な情報を偏りなく受け止めますが、成長するにつれて脳のフィルターが発達してきますよね。例えば今は壁の染みを見ないようにしようとか、音を気にしないようにしようとか。フィルターが発達して世の中に適応していくはずが、何らかの理由で、発達が遅れたのが私で。

中村 子どもの感受性をそのまま持ち続けていたということ。

吉藤 例えばあまり人に描かれない唇の縦のしわとか、鼻の下の縦の2本の線とか、ほうれい線とか。幼稚園の子が、お母さんを描いてみようっていったらそういうのを描くじゃないですか。でも、どこかの成長段階で、情報をそぎ落とすことを覚えて、デフォルメしますよね。それが、私は高校生ぐらいいに至るまで、ずっと人の顔を見た時に、その人のまつげだったり眉毛だったりを一

中村 1本1本全部描く。

吉藤

今は全ての情報が入ってこないようにできるようになりましたが、高校生の時まで、相手の目を見て話していると、ちょっと相手の目が泳いだり、眉がぴくりと動いたりすることが気になってしまう。気にし過ぎてしまうがゆえに疲れるし、怖いし、人間はつら過ぎると感じました。

中村

でも先生との出会いがその悩みを乗り越えての今につながった。悩みがあったからこそ生まれたアイデアとも言えますね。

3. 人が動かしているから、動いてる

吉藤

2000年の頭に一気にインターネットが活気付いてきて、オンラインのゲームとか、FacebookなどのSNSが出てきて。YouTubeは出てくるわ、翌年にはiPhoneが出てくるわ、シリコンバレーが一気に活性化しだす。日本でもニコニコ動画みたいな文化の発信が現れ始めて。多感な時期にあの勢いや面白さを味わって、技術の可能性を感じました。

インターネットを使うと目が見えない人も、しゃべれない人も、寝たきりの人も、普通に交流ができる。だけど、リアルで会うと明らかに障害がそこに存在する。障害って人と人の間に存在するんです。人と人をつなぐための共通のルールが無い状態。それをインターネットのような、人と交流しやすい属性を持った状態のまま、リアルに降ろしてくる方法がないかなと。逆ヘッドマウントディスプレイ構想です。ヘッドマウントディスプレイを使って仮想現実にはダイブするのではなくて、仮想現実からリアル世界にダイブできるツールができないかと。それが、小学校の頃に私が妄想していたもう1つの体です。

中村

もう1つの分身がどこかで代わりに動いてくれるという妄想が、技術で可能になるということに気づいたんですね。

吉藤

じゃあ、何を満たせばもう1個の体なのか？ そもそも“いる”ってなんだろう？ ということの研究し始めました。出会うためにはそこにいなきゃいけませんから。目の前のものに知能が“ある”かどうかって、人間には判断できないんです。ChatGPTに意識があるかどうかを判断できないけど、目の前の人間には、自分と同じように意識があるんだろうと想像できる。ぬいぐるみには命を感じることができて、ぬいぐるみが引き裂かれたらショックを受けるけど、スーパーコンピュータ・京が終わった時に、われわれは涙を流さなかったですね。

観測者側から見る命や存在に興味があつて。“いる”という状態は、「自分がそこにいる」と認識することと、周りが「そこに吉藤がいる」と認識されている2つの認知を一致させることだと仮定すると、“いる”っていう状態はつくれるし、自分と全く同じ分身でなくても

いい。心を運ぶ車椅子が作れるかもしれない。「分身ロボット」という構想を2009年に大学の先生たちにプレゼンしたんですけど、誰も理解してくれなくて。じゃあ自分でやろうと思って、自分の研究室を勝手に作りました。大学卒業できなくなるんですけど、別にいいやと思って。

中村

そこで「心を運ぶ車椅子」を発想したことが独自性でありすばらしい。ロボットは機能を考えますが、それを心から始めたところが興味深いことです。

吉藤

ALS（筋萎縮性側索硬化症）や頸髄損傷で寝たきりの仲間たちが、ほとんど毎日OriHimeを使ってくれています。彼らは自分の身体のようにロボットを使いこなしています。



中村

人間は生きものです。しかも急に人間として生まれたわけではなく、他の生き物たちと共有する40億年の歴史がある。それがこの体になり、心があるわけで。知能や知性、精神も、体が基本だというのが生きものを考える生命誌の立場です。体という実態抜きでものを考えるのがAIですよ。人間も、身体から離れることはないだろうし、離れてしまったら人間である意味がありませんよね。オリさんが悩んだ末に考えた結果が、分身としてのOriHimeの体になっているところが、1つの答えなのかなと思います。

吉藤

中村先生的には、私たちがいつか将来寝たきりになった時に、リアルの世界じゃなくてバーチャル世界・メタバースを生きるっていうのはどう思いますか？

中村

身体性を抜いたら、歴史性を持っているこの自分はいなくなると思います。一人ひとりが親から生まれたんだし、その親はまたその親からと遡っていくと、40億年前に戻るわけ

でしょう。その歴史性あつての存在。アリも同じように40億年かけてここまで来た、私と同じ所にいる存在となる、そういう存在じゃないと思えないのね。誰かが設計して作ったわけじゃない。そういう意味で身体性っていうのは忘れちゃいけないと思っています。だから、オリィさんがAI型ではなく分身の形を考えていることに共感するんです。しかもOriHimeさんの姿が非常に洗練されている。今、本物の人間とそっくりのアンドロイドがあるでしょ。

吉藤 ▶ 技術的には可能ですね。

中村 ▶ 40億年の歴史の上にある人間としては、アンドロイドは作ってはいけないと思うのです。人間をつくるなどという気持ちでなく、心を運ぶという考えを表現しているので、OriHimeの姿は美しいのだと思うのです。

吉藤 ▶ 生命の専門家にそう言っていただけて嬉しいです。中村先生としては、実物と全く同じ顔や身体のアンドロイドがいてはいけないんですね。

中村 ▶ 唯一無二の存在としてあるものですから。それを勝手につくるのは冒涇でしょう。

吉藤 ▶ ここにいる私も、もしかすると、そうかもしれませんよ。

中村 ▶ そんな時代になりましたね。ちょっと怖い。OriHimeが美しいのはオリィさんの中に、人間を大事にする思想があつて、それが表現されているからだと思えて止まっているのですけれど。

吉藤 ▶ 私の中ですごく好きなデザインがあつて、その要素がOrihimeに入っています。今のOriHimeはネコと鳥を観察しながら作ったデザインです。見られていると感じませんか。視線とは不思議なもので、目からフォトンが出ているわけでもないし、音が聞こえるわけでもないのに情報を感じますよね。動物同士はアイコンタクトをする。人を含め、生きものは目だけで通信をしてる。その目が合う瞬間の面白さを再現したかったのです。

中村 ▶ 人間でも、アイコンタクトが言葉以上のものを語りますからね。

吉藤 ▶ 人でもペットでも、目を合わせてもらえるとちょっと嬉しいですね。OriHimeを作る時には、ネコが下から見上げてくる感じ、鳥が上から見下ろしてくる感じを意識しました。以前はもっと首を素早く動かして目を合わせていたんですよ。



中村 } それが自然に変わっていったのですか。それとも変える必要があったのですか。

吉藤 } やっているうちに変わっていきました。カメラの映像で顔を識別して、自動で目を合わせることにはできるのですが、ロボットが最短距離で目を合わせることと、私たち人間が相手の目を見ることは少し違う。私の意思がそこにあるから、おそらくアイコンタクトというものが成り立っているんですよね。ゆっくりでもいいから、「その人が動かしているから、このロボットは動いてる」という状態を大事にしたかった。だからOriHimeは、起動時に首が起き上がる時と、最後首が下がる時以外は、勝手に動かないようにしています。手を上げるのも、首を動かすのも、全部パイロットの人が遠隔操作で行います。そういう調整を経て、今の形や動きに最適化されてきました。

4. “能面”としてはよろしくない

吉藤 } 個人的に、OriHimeは今の時代には少し可愛い過ぎると思っていて。10年前はよかったんですけど、可愛い情報はもうちょっとそぎ落としてもいいかなとは思ってます。

中村 } 前はよかったのに、今可愛いのがいけないという変化は、オリィさんの気持ちですか。それとも社会の変化。

吉藤 } OriHimeは15年前に作った時は、どちらかという怖いと言われていたんですよ。例えばですけど、今から15年前とか20年前は、カエルの嫌いな女性が多かった気がしませんか？ 今カエルって、可愛いという印象をもたれていますよね。20年の間にカエルのデザインは変わっていないのに、それを受けとる人間の感受性に変化があった。私たちは今、成人男性に対しても可愛いという表現をしますよね。私たちの可愛いという言葉の範囲がここ20年で広がってしまった。

中村 } 日本の文化の象徴みたいになってますね、今。

吉藤 } 昔のイケメンと今のイケメンの定義が違うように。可愛いって幅が広がり過ぎてしまったことで、OriHimeは15年前は可愛くなかったはずなのに、今は可愛いと言われてしまうようになった。OriHimeに可愛いという情報が無い方がいい人もいますはずなんですよね。その人に対して無理やり可愛い属性を与えてしまっているのは、私は“能面”としてはよろしくないなと思っている。

中村 } 抽象的にしたいわけね。

吉藤 } 第一印象に“ゆらぎ”をつくっておきたいんですよ。特に私たちの作っているものはAI

じゃないので、奥に人がいるんです。その人がそこにいると感じさせたい。例えばドラえもんがいたとして、その中身が自分のお父さんだったら嫌じゃないですか。ドラえもんとお父さんのイメージにギャップが存在する。われわれが作るロボットは分身という依代(よりしろ)なので。動いていない時は何者でもない、物でなくてはならない。

中村 } ゆるキャラとは正反対ね。

吉藤 } ええ、ゆるくあってはいけないんです。固くあってもいけないんですけど。

中村 } 何者でもなく、奥にあるものが全てこちらとの関係で出来上がる。そういうものが作りたい。

吉藤 } 操作した人のイメージに収束させるためには、宿る前の身体にキャラクター性がないほうがいい。ネコ型やイヌ型も作って見たんですけど、イヌ型にすると、みんなからイヌ扱いされて「お手!」って言われたりする。イヌになってみたい人はいいですよ。われわれも老後に体が動かなくなったら、ネコ型になってネコの井戸端会議に参加したり、ペンギン型になって群れに混じって海で泳いだり、卵を孵すことができるかもしれない。それはそれで悪くない。だけど、まず私たちは人間社会に重きを置いていますから。では人間社会に入っていく時に、果たして「本人と全く同じ体」でなくてはいけないのかというと、そうではない。

情報って、多ければ多いほどいいと言われるけど、私は違うと思っていて。われわれ人間には、アイコンタクトや表情など、見出す力があって、見出してしまう。本当にわずかな変化でも、人はそこから広げることができるからこそ、行間が必要だったり、“間”というものが大事だったりすると思っていて。でも初めはOriHimeには全く目もなく口もなく。口は、今もあまりないんだけど。初めの頃は雪だるまみたいなのを作っていました。

中村 } 雪だるまみたいだったなんて、面白いですね。

吉藤 } 目すらないロボットから、人は何も見出せないんですよ。

5. 寝たきりの先輩

吉藤 } OriHimeには初め腕も無く、みんなから怖いと言われました。「腕がないと人間じゃなくなっちゃうんだ」と力説してきたのが、親友の番田雄太という寝たきりの男で、彼のいう通りに腕を付けたら全然違いました。OriHimeが手を上げて「やあ」と言うだけで、周囲が笑顔になってアイスブレイキングが起こる。お互いに手を振りあえば関係性が変化

するんですよね。そのことを、腕を動かしたことの無い番田はよく理解していました。彼は亡くなってしまいましたが、一緒にOriHimeを作ってきた男です。私たちは目を見て話さないと言われてきたけれど、そもそも寝たきりの番田は後ろから声をかけられて声だけで返すというコミュニケーションが当たり前でした。OriHimeを使っても首を動かすという感覚を持っていなかったのに、動かしたことない首、動かしたことない腕について学習していき、そっちのほうの方が人と仲良くなれるんだと気付いて、OriHimeの動きと一緒に作ってきた。その結果としてあるのが、このカフェのOriHimeのモーションです。

中村

私たちは手があるのは当たり前、首が動くのは当たり前と思っている。それが当たり前でない人が、どうしても必要なものとして要求したのがあの形なのね。

吉藤

面白いんですよね。20年寝たきりだった番田にとってのコミュニケーションと、体が動くのが当たり前でいる人たちのコミュニケーションは全然違う。目を見て話さないとか、ボディランゲージ、ハグや握手とは全然違う世界で番田は生きていた。

中村

体が動く人側から考えて作るより、番田さんの方から考えて作った方が、本質的な物ができたということから、多くを学べますね。

吉藤

私はそう思っています。だからこそ、私は番田雄太を「寝たきりの先輩」と言っています。番田は、自分を先輩扱いしてくれたのはここだけだ、と言っていました。でもそうじゃ

ないですか。私は3年半だけでも発狂するぐらいの辛さだったのに、彼は4歳から23歳で私と出会うまで、首から下の感覚がない世界で病院から出ることなく過ごしてきた。彼と出会った時は尊敬の念しか湧かなかったです。どうやって彼は自我を保ったんだろうか。彼は顎を使ってパソコンを操作して6000人にメールを送ったらしいんですが、ほとんど返事はない。われわれは、目の前にいる人に対しては反応できるんですよ。でも、知らない人からメールが来ただけだったら、だいたいは無視しますよね。

中村

そこにいないのと同じだから、反応する人がいないのね。

吉藤

彼はめげずに、リアクションのない世界でメールを送り続けていたんですよ。そんな人間は他にいないと思い、会いに行ったらすぐに意気投合しました。友達のいなかった私に生まれて初めて親友と呼べる男ができたんです。彼が23歳、私が24歳の時です。



会社ができたばかりの頃にOriHimeを使って遊びに来てもらったのですが、遊びに来てもらっても、私は仕事をしている。立場が違います。立場というよりは、時間の貴重さが違う。人間には偉いも偉くないもなく、単純にその瞬間の責任であったりとか、時間の価値に多少差が出るだけだと思うんです。

例えばドライブしている時に、私は車の中にいる。OriHimeの番田は、寝た状態で病院の中にいる。そうすると目的地に着くまでの時間ってお互い暇なんですよ。このドライブ中は時間の価値が近づいて、偉さというものがなくなると私は仮説を置いていて。そのように、一つのミッションに対して一緒に向かっている状態を職場でどうつくるか、人間社会でどうつくるか。“役割”というものがすごく大事だと思い、番田に「寝たきり秘書」という新しい役割を作って、私のスケジュール管理を任せました。結果的にいないと困る存在になって、彼が亡くなった時に私の業務はストップしたほどです。

私は将来寝たきりになっても、番田雄太ができたのだから我々もできるかもしれないと考えることができる。それがうちのカフェの根幹です。カフェで働くOriHimeのパイロットの4割ぐらいは、今まで働いた経験がない人たちですが、OriHimeを使って半年ぐらい働いてもらおうと、自負が生まれて自分を変質させていくんです。私はロボットが作りたかったわけじゃなくて、人がどう変わっていくのか、どう人が出会っていくのか、どう自分というものを信じてもいいかって思えていくのかー

中村 } ロボットではなく、人の変化を作りたかったのですね。

6. 運任せではない出会い方

中村 } オリィさんって最初から、人が苦手と言いながら、一番関心があるのが人ではありませんか。これまでのお話も全て人を語っている。ロボットやAIをつくっている人には、人に関心を持っているとは思えない人が少なくありません。人について考えることが一番大事なことです。人間としてお互い関心を持ち、お互いどうやって生きていこうかと考えることが、社会で生きてる時に一番大事でしょ。今それを無視して、AIでできればいいじゃないか、機械でできればいいじゃないかとなってる。

最初出会った先生、それから番田さん。全部人がオリィさんを動かしているし、オリィさんは人をとてもよく見ている。番田さんとオリィさんが出会わなかったら番田さんはお話してくださったように思い切り生きられなかったでしょう。オリィさんが番田さんを人として、見たからそうなったのでしょう。

今一番大事なのは、人が人を正面から見て、お互い関わり合っていくことです。

一人一人が人間らしく生きられるような社会にしようっていうのが、人間として生きてきた人の役割だと思うのね。人間が苦手なオリさんが一番それをやっているとというのがとても興味深い。

吉藤 それでも私は、あまり人は好きじゃないです。

中村 でも今までの話、全部人から学んだし、人をどうしようと思っている。

吉藤 一番人生でストレスなのも人なんですよ。人といっても目の前の人や誰か特定の人ではなくて、ヒューマンの方にきっと興味はあるんです。

中村 人間とはどういう存在であって、どう生きなければいけないかということを毎日考えているのだと思うの。それが今の社会に一番必要なことであり、番田さんという一人の人の生き方を変えた。そしてOriHimeという形で見えるようにした。今の社会に対するメッセージとして面白いしとっても意味があると思います。

吉藤 私は人が好きではないし、優しくもない。人を救いたいというモチベーションでやるのではなくて、仕組みを考えるほうが好きだし、現象は好きなんですよ。この肉体でうまく社会になじめる人はそれでいいんですけど、なじめない人が居場所を失って、リアルでは生きられなくなって。インターネットとかオンラインの世界、ゲームの世界に一回心を逃がして、でも結果的に就職も難しくなってしまって、自分がいけないほうが社会のため、家族のためと考え、究極の選択をしてしまう人がいることもわかります。



中村

私の時代はこれからより良い社会になると信じていたので、そのように自分を追い詰めずに過ごしましたが、行き詰まり感のある今、若い方の悩みは深刻だと思います。本当はこんな時代だからこそ新しい道を探してほしいと願いますけれど。

吉藤

きっとそこは、居場所をうまく作ったり、気の合う友人を作る方法が足りてないだけだと思うんですよね。例えば電車に乗る時も、1時間ぐらい一緒に旅路を他の乗客と同じ箱で旅しているんです。あれだけたくさんの人が移動しているので、その中に分かり合える友人はいると思う。システムをそこで利用しないのはとんでもない機会損失だと思うんです。

振り返った時に、あの人がいたから自分の人生はあるっていうのって、みんなあるじゃないですか。それぐらいには人から影響を受けているはずなんですよ。あの出会いがなければ今の自分はない、出会ってよかったって言っている割に、出会いの求め方自体がとても運任せであり、方法って確立されていない。それがないほうが運命的で楽しいという考え方もあるかもしれないけど。

中村

すべての人に出会いの場があるようにしたいという気持ち、共感します。

吉藤

“出会いを目的としない出会い系”が必要なんですよ。私たちは出会いを目的とせずに、出会うために人間社会に溶け込もうとしているんだと思っています。

中村

出会いの大切さは私も感じています。あの方に会わなかったらこれはできなかったと思うこと、何度もありましたから。

吉藤

もちろん計算された出会いに価値がないという人もいると思うんです。

中村

その辺が難しいなとも思うの。つくられてしまうと意味がなくなるかもしれない。出会い過ぎててもよくないし。

吉藤

自分と通信がしやすい人とかコミュニケーションを取らなくなる時代が来るかもしれませんからね。みんながみんな人と出会いたいわけではないとは思いますが、人と出会うことによって私は人生が変わっている。

中村

出会いがプラスに働くには、みんなが信頼し合い、助け合う社会であることが必要。特にネット社会などその辺が気になります。

吉藤

悪意のある人もいますし、良くない人との出会いは人生を狂わせますからね。でも本当

に居場所がなくて、友達が欲しいけれど出会い方が全く分からない人とか。例えば、リアルでは呼吸器を付けているような事情のある人たちが、同じような気持ちの分かる仲間とどう出会えるか。それが、今の自殺率を食い止める方法だと思っています。

中村

出会いが大事であり、それが無いがために苦しんでいる人がいるのも確かですから、良い出会いは必要ですね。

吉藤

いっぱい出会ったとしても、その中で一緒にキャンプ行こうっていうのは本当に一握りでしょう。でも、1万人に1人ぐらいしか理解者を得られない人がいたとしても、1億人以上いるんですよ日本って。世界的には80億人いるわけですよね。80万人ぐらいの理解者を得る可能性がある人って全然孤独じゃないはずで。あとはそれをどうつなげられるか。

7. アーカイブ人類

中村

昔は社会が小さかったわけです。村とか集落とか。脳の大きさからいくと人間って150人ぐらいしか、本当の仲間にはなれないということが分かってますから。リアルに仲間意識が持てる30人や50人の集落で生きてきたのが人類の歴史。今それがどんどん大きくなって、1000万人の都市とか80億人の地球を考えられる。一方で集落は壊れつつある。そこが、もう1つの問題としてあるのではないかと思う。それを壊してるのが現代技術社会だとしたら、それを現代技術で全て解決するというよりは、なぜ壊れたのかを考えて、社会のありようを考える方向もあると思うのです。

吉藤

私は、そこは適材適所社会というアプローチが有効なんじゃないかと考えていて、つまり150人ぐらいの村の中で社会を回していくには、みんな多分やるのがいっぱいあったと思うんですよ。

中村

確かに忙しいです。でも、やっていることの意味がわかるので楽しいのです。地方での活動に参加すると身近な人のために働くことができ生き生きと感じます。

吉藤

大きな都市では、大量生産の大量配達の大型企業に、近くの八百屋みたいな感じのお店は太刀打ちできない。そうじゃなくて、30人ぐらいの人が自分のお店に来てくれるぐらいの維持の方法ってなんだろうと最近考えていて。つまり適材適所社会。みんなに何か役割があるという状態。「俺やることないな」とか、みんなから「お前は何かしないで座ってろ」と言われるような状態を解消することによって、もう1回村のような状態を作れないかなとは思ってます。

中村

地球全体のことを考えられる現代はすばらしいし、その考えは大事だけれど、集落は人

間の基本だから、古いからと無視して、大きなところだけ考えるのでは、決して社会は成り立たないでしょう。昔へ戻れというのではなく、新しい集落。

吉藤

便利と効率というものをどう捉えるか。今の時代、私たちが自由に使える時間を奪っていく存在は、AIではなく“過去の人間”だと私は思っています。人類史上、過去の人間と対話する時間が一番長い時代とも言えるんじゃないかと。

例えばこのインタビュー記事も、過去の私たちが話している内容です。昔の人は目の前の人と対話して、目の前の人にチューニングしていたはずなんですけど、今は長ければ1日の半分ぐらい、本、動画など、過去と対話している。その時間は、本来、今生きる生きものの同士のコミュニケーションに使っていた時間です。AIに仕事を奪われるよりも先に、過去の人類、“アーカイブ人類”に仕事を奪われているのが今なんです。そういう時代になっているのも、目の前の人とのコミュニケーションに我慢しなくても、AIだったり目の前の人間じゃないものに心を逃がしていく選択肢が広がっていった理由だろうなとは思いますがね。

中村

面白い考え方ですね。今が軽んじられているとは私も感じています。AIは過去のデータを大事に扱うのであり、結局過去ではありませんか。

8. 生きるって、今

吉藤

人類の生ける時間、使える時間もお金も限られているし、なんなら関係性っていうものも限られている中のリソースが、ほとんど過去に消費されていってしまう。そこを果たして止めることができるのかどうか。もしかするとわれわれは、過去の人類とだけ語り合っていれば幸せを感じるというふうに進化してしまうのかもしれない。今の時代私たちはその事実に対して、抵抗感や気持ち悪さを感じると思うんですけど、ゆくゆくは感じなくなるかもしれない。

AIによって過去の偉人を目の前に復元させて対話したり、自分のおじいちゃんや、亡くなった旦那ともう1回しゃべったりといった、過去の人類との対話で自分の人生を消費していくことが、人間の経済として回っていく地点に到達するんじゃないかとは思いますがね。いいか悪いかはさておき。

私たちは基本過去にダイブしているんですけど、もう1回、リアルというこの今にどうダイブするのか。今をどう楽しみ、今をどう感じ、そこから今をどう連想するのか。未来を見過ぎず、過去に漬かり過ぎず、今に集中する時間。

中村 } 生身の中には40億年という過去と未来へ続く可能性とが入っているのだけれど、その中で今を見つめ、今を生きることが生きものであることなのです。

吉藤 } 過去と未来を見ていたほうが幸福を感じてしまうなら、今には集中できません。今というものを楽しむライフスタイルは道德なのか宗教なのか、どんなOSによって成り立つのかを考えないと、人って変化しない気がするんですよ。

中村 } でも生きるって、今でしょ。

吉藤 } 今です。間違いない。



中村 } そうすると今がなくなった人間って何なんだろう。

吉藤 } 今年4月にデンマークに分身ロボットカフェのコラボレーションのカフェをオープンしました。10年くらい前からよく交流をしていて、デンマーク大使館が一番初めにOriHimeを導入してくれたんです。デンマークはヒュッゲ (HYGGE) という言葉があって。幸福というものについて、自分の中で一つ軸を置いて、何も生産的なことをしてるわけでもなくお金のなものでもなく、ただただ気の合う友人と語り合う、のんびり、ゆったりとした時間っていうものをすごく大切にする。すごく今を生きてる感じがしますよね。

中村 } デンマークだけでなく、北欧がそうね。フィンランドも、スウェーデンもヒュッゲという感じがありますね。長い歴史の中でつくられてきたもの、そこには自然も関わるでしょう。日本についてそれを考えなければなりませんね。

吉藤

土地に根ざしたライフスタイルですね。

中村

身体性とか今を生きるとか、孤独というお話がありましたね。今の社会、個を強調するじゃないですか。もちろん個は大事です。人間80億人いても1人として同じ人はいない。唯一無二の個ですが、個は個としてたった1つで存在することはない。いつも仲間がいる、“私たち”なのです。“私たちの中の私”という存在しかありません。

「生命誌」で一番大事なのが、「私たち生きものの中の私」です。その中に人類があり、日本人がいる。そのような世界観をもつと、今日お話ししてきたような、いろいろな問題を考え直す時の1つの切り口になります。私たち生きものは地球がなければ存在しない。その地球は宇宙の中にあるわけで、「私たち生きものの中の私」という捉え方は宇宙と個を結びつけます。

オリィさんは全然違う形で孤独から始まりOriHimeさんという形で答えを見つけはじめていらっしゃるのだけど、求めているものは重なっている。一見全く違うと見えるかもしれないけれど私の中では重なってきているのです。

吉藤

どういうところが重なっているように感じられますか。



中村

例えばこの図では、私という個から見た時に、家族がいるというのが日常ですけど、そこにはしがらみもあって面倒でしょ。そこでかえって孤独を感じたりするわけです。

吉藤

面白い図ですね。個の私に近いほどストレスを感じます。

中村

その延長上で学校も職場もある。だから引きこもろうとなるわけじゃありませんか。生きものの側からスタートすると、引きこもれない。その中で、たまたま人類っていう仲間にいるんだな、とわかってくると引きこもれなくなる。

吉藤

わかります。

中村

生きものの側から、人間の社会の方向を見れば、OriHimeさんのようにAIでなく人が操作するロボットが生まれる。個の側からいくと、人間の模倣のアンドロイドになる。「私が、私が」になり孤独の問題は解決しません。生きものの側から考えていくと、自由にできるんですよ。こんなことをオリィさんは全然考えていらっやらないと思うけれど、実は重なっているなと思って。

吉藤

ありがとうございます。面白いですね。外側にいくほどテクノロジーが影響を及ぼせるものの限界を感じるような気がします。多分ですけど、私はホモサピエンスぐらいから外側、宇宙とかに対して変化をもたらすようなテクノロジーを作りたいと思ってなくて。

中村

私も。火星に行くための技術は、私たち人間の問題を考える時に、あまり関係ないと思うんです。関係のある技術は何か、と思ったらOriHimeさんのようなものじゃないかなと。だからOriHimeに、大きな可能性を感じるんです。さらに楽しい展開をなさってください。

写真：川本聖哉

対談を終えて

中村桂子

日本橋のビルの一角にあるカフェは、ほとんどが海外からのお客さんで、なぜかは分からないとのこと。春らしい服のOriHimeが飲み物を運ぶ姿は健気で可愛いものでした。OriHimeのパイロットであるまちゅんさんと、宮沢賢治や大谷翔平の話を楽しみました。人との付き合いが苦手だからこそ、徹底的に人間に向き合い、本質を探っているところがオリィさんの興味深いところ。「Ain't AI」に徹しての新しい技術、社会の創造に期待しています。

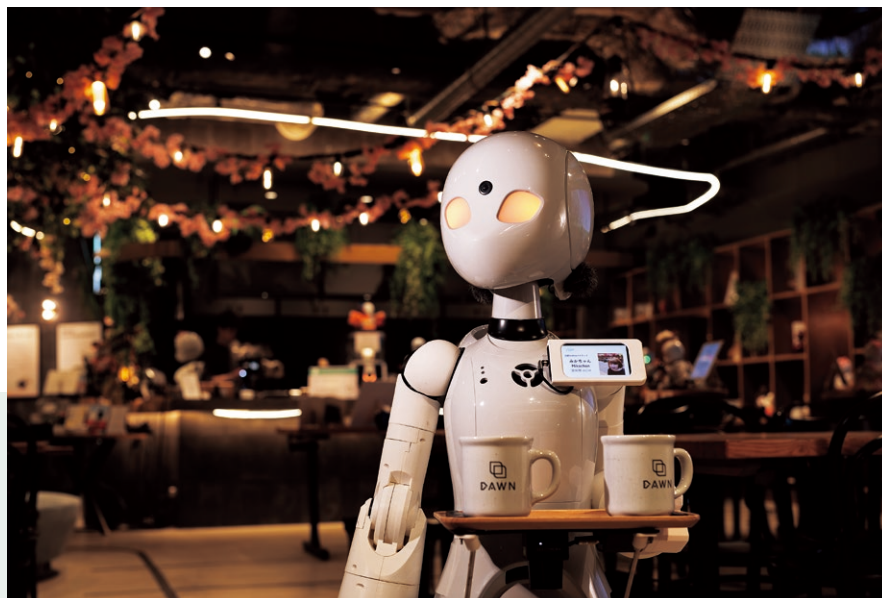
吉藤オリィ

「私」から始まって、家族、生命、地球、宇宙にいたるまでを自分自身に連なるものとして捉える視点が面白かったですね。星を眺めて心が安らぐように、「私」から見てはるか外側に存在する普遍的なもののほどストレスを感じにくく、精神的な癒しにつながるのかもしれないと思いました。



吉藤オリィ(よしふじ・おりい)

小中学校時代の不登校の体験から、早稲田大学在学中に“孤独解消”を目的とした分身ロボット「OriHime」を開発、2012年に株式会社オリィ研究所を設立。さまざまな理由で外出することが困難な人が「ベッドの上にながら、会いたい人と会い、社会に参加できる未来の実現」を理念に、開発を進めている。趣味は折り紙。



ロボットで探る 母鶏とヒナのコミュニケーション



新村 毅 東京農工大学農学部 生物生産学科

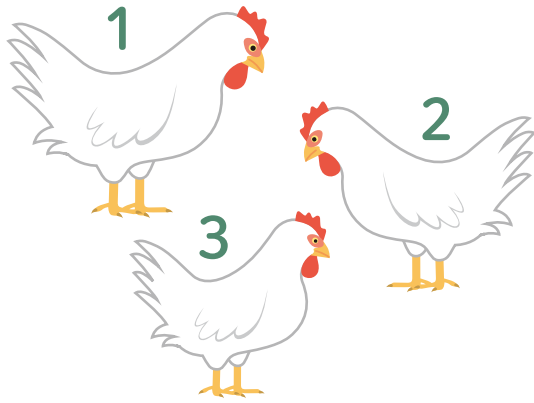
近年、動物福祉の考え方の急速な発展に伴い、動物の先天的な行動を理解することが重要視されている。私たちはニワトリの行動をもとに動物を理解し、動物の状態をより良くすることを目指した。親と子を繋ぐ、ニワトリの巧みな関係性を見てみよう。

CHAPTER 1. 動物行動学からみるニワトリの社会性 2. 母鶏とヒナ関係をロボットで再現する
3. 母鶏とヒナのコミュニケーションのしくみ 4. 動物への配慮に基づいた研究の広がり
Column 動物福祉モデル鶏舎 Unshelled の試み

1. 動物行動学からみるニワトリの社会性

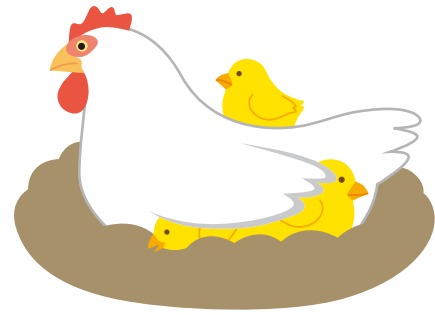
生きものは生きものを食べ物として、他の生きものの「生命」をいただいて生きている。人間は農業、畜産により、生きものを食べ物として育てることで数を増やし、発展を遂げた。とはいえ人間が特別ではなく、地球上の生命は同じ時間をかけて進化した等しい存在である。日頃、鶏肉や卵として口にするニワトリも同じである。従来、養鶏では鳥の自由を制限したケージでの飼育が行われてきたが、近年「アニマルウェルフェア（動物福祉）」の考えが広まり、動物の生活の質を高める飼育が模索されている。そのためには、ニワトリという生きものを理解し、本来のニワトリ行動に学ぶことが大切だとわかってきた。ニワトリが、生きものらしく生きられる環境で暮らせるしくみをつくるために、ここでは母鶏とヒナの関係性に注目した。

ニワトリの祖先種である野生の赤色野鶏は、オス1羽とメス数羽のハーレムを形成する。各ハーレムは縄張りを形成し、「コケコッコー」という発声により縄張りを主張し合い、厳格な社会的順位を示すといった、多様な社会行動が見られる（図1）。飼育下のニワトリでも同様の行動が見られ、オスの場合、嘴などでとさかをつつき合う総当たり戦の闘争を経て順位を決める（つつきの順位）。上位になったニワトリは、餌や繁殖において優先権をもち、下位のニワトリが上位を攻撃することはないので全体の攻撃行動が少なくなる。ニワトリが鳴き声をあげる時間は体内時計で決まっているが、最上位のオスから順に鳴き始め、下位のニワトリは時間がきても順番がくるまで待っていることがわかっている。採卵鶏の飼育を窮屈なバタリーケージから、砂浴び場や巣箱を備えたエンリッチドケージにすると、メスでも社会的順位づけがおきる。上位のニワトリが砂浴び場を優先して利用し、下位のニワトリは巣箱を避難場所にすることが報告されている。



つつきの順位

嘴などでとさかをつつき合う闘争行為により
社会的順位が決まる



母子行動

卵を温める／孵化後のヒナを羽毛の中に入れる
ヒナに餌の場所を示す

(図1) ニワトリの順位制と母子行動

家畜化された犬や猫、鳥類や哺乳類のほとんどにも順位付けがあるように、ニワトリも順位制や母子行動といった社会的な行動が見られる。

このような生きものの本来の姿が望ましいという考えから、飼育の現場では自由に行動ができる平飼いへの移行が進められている。その一方で、社会性は自然の中で鍛えられた本能であり、数多くのニワトリを飼育する環境では、餌の競争により生育が偏ることや、攻撃が過剰になり共食いに発展することもある。このような栄養不足や死亡リスクは、ニワトリにとっても人間にとっても不幸であり、深刻な問題となっている。そこで我々は、ニワトリの行動の分析を通して、ニワトリをよく知り飼育に活かす技術を目指している。

2. 母鶏とヒナの関係性をロボットで再現する

ニワトリの子育てでは、母鶏が food-call(フードコール)と呼ばれる「コックッ」という鳴き声をだし、餌の場所を突いて示すことでヒナに餌を食べさせる。この育雛行動は、ヒナの体温調節機能が発達する4週間ほどまで継続し、母鶏に育てられたヒナは、行動が発達し栄養状態がよく、人にもなつきやすいことが知られている。また、この性格は母鶏と離れても続き、飼育下でも餌をよく食べ、共食いがおきにくい。母鶏による保育は効果的であるが、集団飼育下で母鶏と一緒にすることは難しい。そこで、この習性とニワトリなどの鳥類のヒナが、出生後の間もない時期に最初に見た動くものを追従する「刷り込み」の能力に注目し、母鶏役の代用としてロボットの利用を考えた。



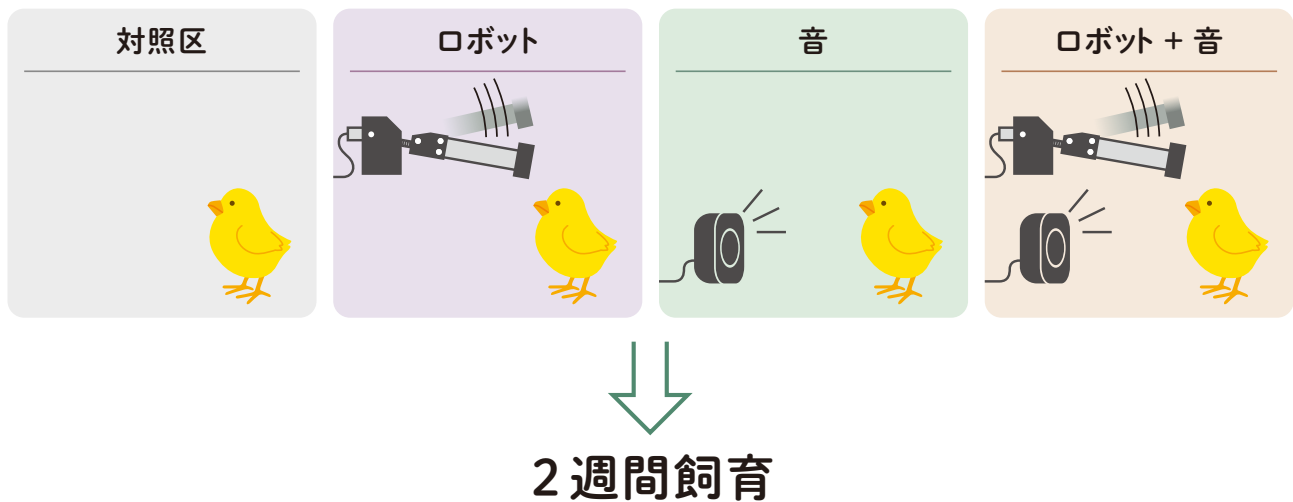
まず、ニワトリの剥製にモーターを組み込み、餌場を教える「剥製ロボット」を作製し、スピーカーによるfood-callに併せて、ヒナ5羽に2週間示した。その後、餌をつつき始める摂食開始までの時間を測定し、恐怖反応性について調べた。恐怖反応性の実験は、人の手や新奇物に触れるまでの時間（潜伏時間）を測定し、短いほど恐怖反応性が低いと評価する。剥製ロボットを入れた提示区はヒナだけの対照区に比べ、摂食開始までの時間が有意に短縮され、恐怖反応も低い傾向を示した。さらに実用を見据えて、剥製の代わりに母鶏に見立てた棒が上下するだけの簡易ロボットを開発した。すると、この簡易ロボットでも剥製ロボットと同様の効果が見られた。「刷り込み」の効果によって、ニワトリらしさとは無関係に、初めて目にした簡易ロボットを母親だと認識したのだろう。



(図2) 2種類の母鶏模倣ロボットの共通点

実際の母鶏に似せた剥製ロボットに育てられたヒナと、極めて簡易化したロボットでもヒナの摂食時間の効果が変わらないことから、簡易ロボットでも剥製ロボットの代替となり得る可能性が示唆された。

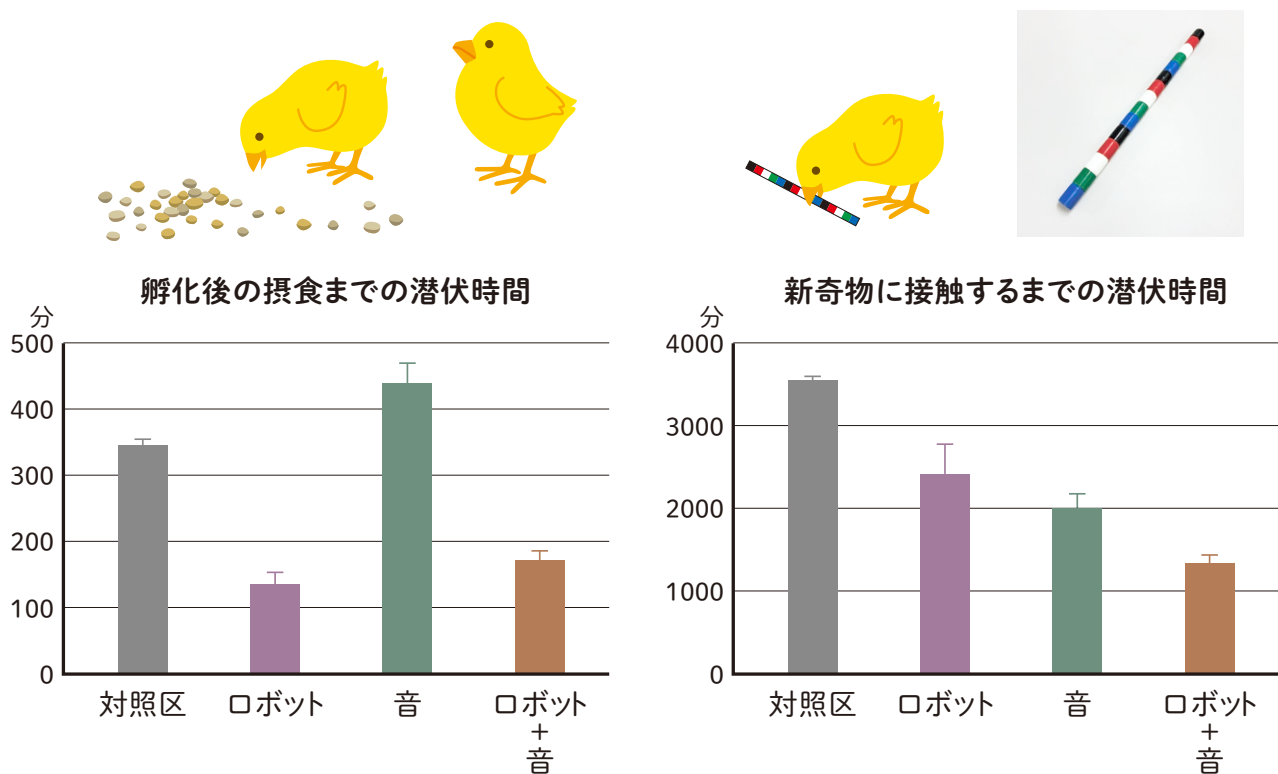
これらのことから簡易化したロボットでも剥製ロボットの代替となり得る可能性が示唆された。しかし、摂食開始までの潜伏時間に差が出ていないことから、更なる改良が必要であると考えた。そこで、私たちは動きと音が独立している点が実際の母鶏の行動と異なるということに注目した(図2)。先ほどの簡易ロボットに餌場を示す際に母鶏がつつく音を加え、「対照区」「ロボットのみ」「音のみ」「ロボットと音」4つの区域それぞれのヒナの摂食時間および新奇物に触れるまでの時間を計測した(図3)。



(図3) ロボットを用いた雛の行動の制御を4つの区に分けた実験

孵化直後のヒナ5匹を、それぞれ「ヒナのための対照区」「ロボットのみ」「food-callの音のみ」「ロボットとfood-call」の4つの区に分けて飼育した。

すると、母鶏を模倣した動きと音と連動することで、ヒナの摂食開始までの時間および新奇物に触れるまでの時間がより短くなることがわかった(図4)。



(図4) 生育区ごとの摂食および新奇物に接触するまでの潜伏時間の結果

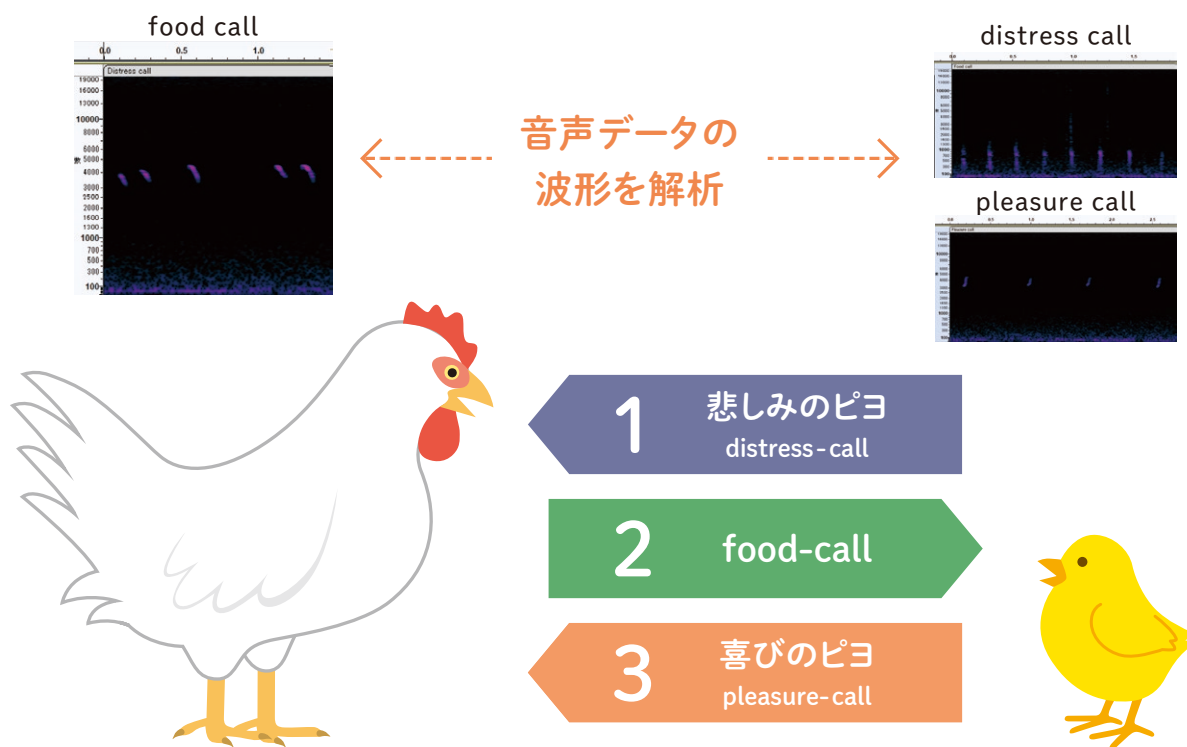
それぞれの区で育てられたヒナの接触および新奇物に接触するまでの時間(潜伏時間)を計測した。

つまり、簡易なロボットであっても母鶏の動きを模倣した動きと音を連動し、母鶏の行動を再現することでヒナを健康に育てる効果があり、ロボットの活用がヒナの生活の質を向上させることにつながるということがわかった。

3. 母鶏とヒナのコミュニケーションのしくみ

母鶏の存在はヒナの発育に良い影響があることはわかっていたが、food-callがどのようにヒナに作用するかはわかっていなかった。そこで、まず母子間での音声コミュニケーションの解析を試みた。

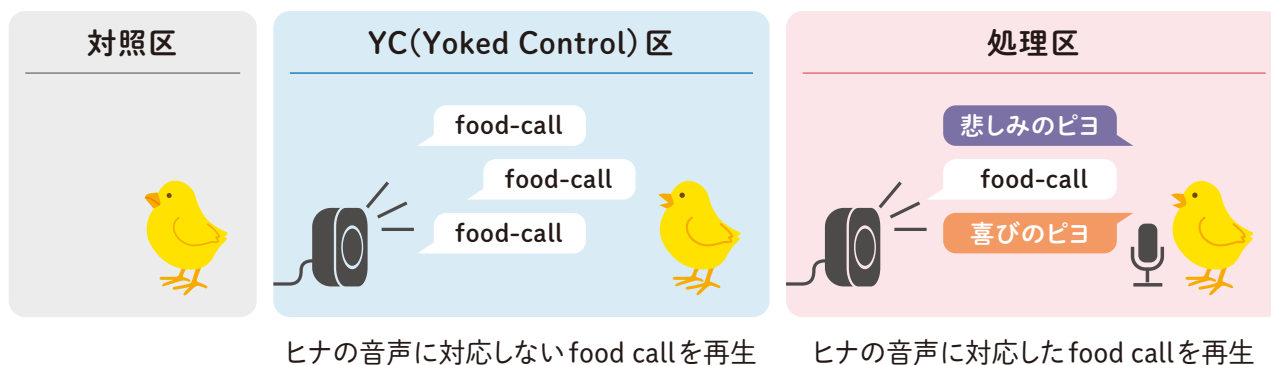
産卵し抱卵中の母鶏1羽に生まれたてのヒナ1羽との母子行動を誘導し、音声データを得た。この音声データから2,038個の波形を抽出して分類し、時系列解析である推移行列解析を行った。すると、ヒナの音声には明らかに異なる2種類のパターンが見つかった。この差異はヒナが母鶏と一緒にいる時と、母から引き離された時の違いに由来するものであり、前者を「喜びのピヨ」、後者を「悲しみのピヨ」と呼ぶことにした。この2種類の鳴き方と母鶏のfood-callの時系列による関係を調べると、ヒナが悲しみのピヨを発した時に母鶏は「コッコツ」とfood-callで応え、その声を聞いたヒナは喜びのピヨで返していたのだ(図5)。つまり、母鶏のfood-callが、ヒナの状態を悲しみから喜びに変えるということだ。



(図5) 鳴き声を介したニワトリ親子の相互的コミュニケーション

孵化直後の母子間の音声コミュニケーションを解析したところ、ヒナは異なる2種類の鳴き声のパターンを使い分けていた。

この音声コミュニケーションがヒナの生育に与える影響をしらべるため、母鶏の人工の音声を聴かせる実験を組み立てた。food-callを全く聴かせない(対照区)、food-callを脈絡なく聴かせる(YC区)、悲しみのピヨを発した時にfood-callを聴かせる(提示区)、これら3つの条件で、5羽ずつ4回の実験を8日間行った(図6)。ヒナの「喜びのピヨ」と「悲しみのピヨ」は周波数の形から区別し、母鶏のfood-callを再生する「Chick Call Detector(CCD)」という専用のソフトウェアを開発し、オーディオインターフェースを介して音声スピーカーから流れる仕組みを構築した。

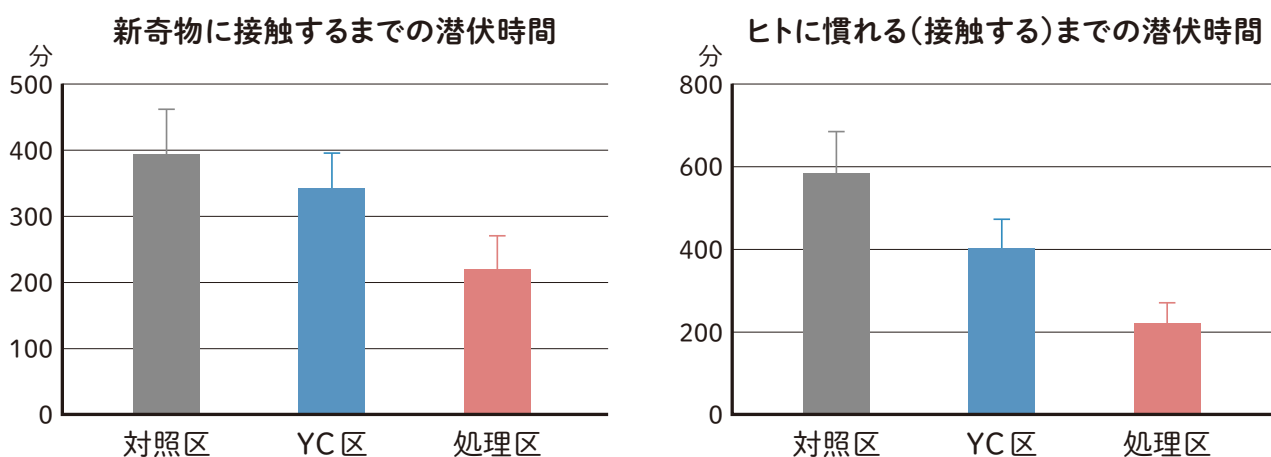


8日間飼育

(図6) 母鶏とヒナの母子間コミュニケーションを再現する実験

孵化直後のヒナ、それぞれ「ヒナのための対照区」「ヒナの音声に対応しないYC区」「ヒナの悲しみのピヨに対応した処理区」の3つの区に分けて飼育した。

実験後、それぞれの条件のヒナについて、摂食開始の時間と恐怖反応性を評価した。結果は、母鶏とのコミュニケーションを真似た提示区が人や新奇物への接触、摂食開始のいずれの時間も他の条件に比べ有意に時間が短くなった(図7)。また、ランダムに聞かせる条件では対照区との中間を示し、悲しみのピヨに対して応答するというタイミングも重要であることがわかった。



(図7) ヒト慣れ・新奇物テストおよび接触・摂食までの潜伏時間の結果

これらの結果から、録音した母鶏のfood-callの再生によってもヒナの人や新奇物に対する恐怖反応性を低下できることが明らかとなった。また、脈絡のないランダムなfood-callの提示よりも、母子間の音声コミュニケーションがヒナの健康に寄与することもわかった。本研究において構築した音声によるアニマルコンピュタインタラクションの基盤技術が、良好な飼育環境の構築に有効であることが期待される。

4. 動物への配慮に基づいた研究の広がり

私たちの取り組む動物への配慮に関する考え方は、「動物の権利」「動物福祉（アニマルウェルフェア）」「動物愛護」の3つに大別される（図8）。これらは共通して動物への配慮を基盤とするが、その核心において異なる視点を持つ。

「動物の権利」思想が動物の利用を一切認めないのに対し、「アニマルウェルフェア」は、肉や卵の摂取、ペット飼育といった動物の利用自体は許容する。しかしながら、その利用過程において、虐待や劣悪な環境下での管理を否定し、動物の一生を通じた状態の向上を基本的な考え方とする。これは、動物を殺すことを止めるといった極端な主張ではなく、利用するならばその状態を最大限に良くすべきという、現実的な視点に立脚している。

一方、西洋で生まれた「動物の権利」や「アニマルウェルフェア」に対し、日本には独自の「動物愛護」という考え方がある。動物愛護は「人が主体」となって動物を配慮する点が特徴的である。例えば、ケージ飼いのニワトリを「かわいそう」と感じたり、食事前に「いただきます」と感謝したりする行為は、人が主語となる動物愛護的な発想といえる。こうした発想がアニマルウェルフェアへの関心を引き起こすことは確かである。しかし、単に「かわいそう」と感じるだけ、あるいは感謝するだけでは、動物の状態、すなわちアニマルウェルフェアそのものの向上には繋がらないという事実も認識すべきである。

	動物の利用 (例えば肉を食べる)	主体	対象となる動物
動物の権利 (Animal Right)	×	—	全ての動物
アニマルウェルフェア (動物福祉：Animal Welfare)	○	動物	全ての動物
動物愛護	○	人	主に伴侶動物 (犬・猫など)

（図8）動物の権利、アニマルウェルフェア（動物福祉）、動物愛護の違い

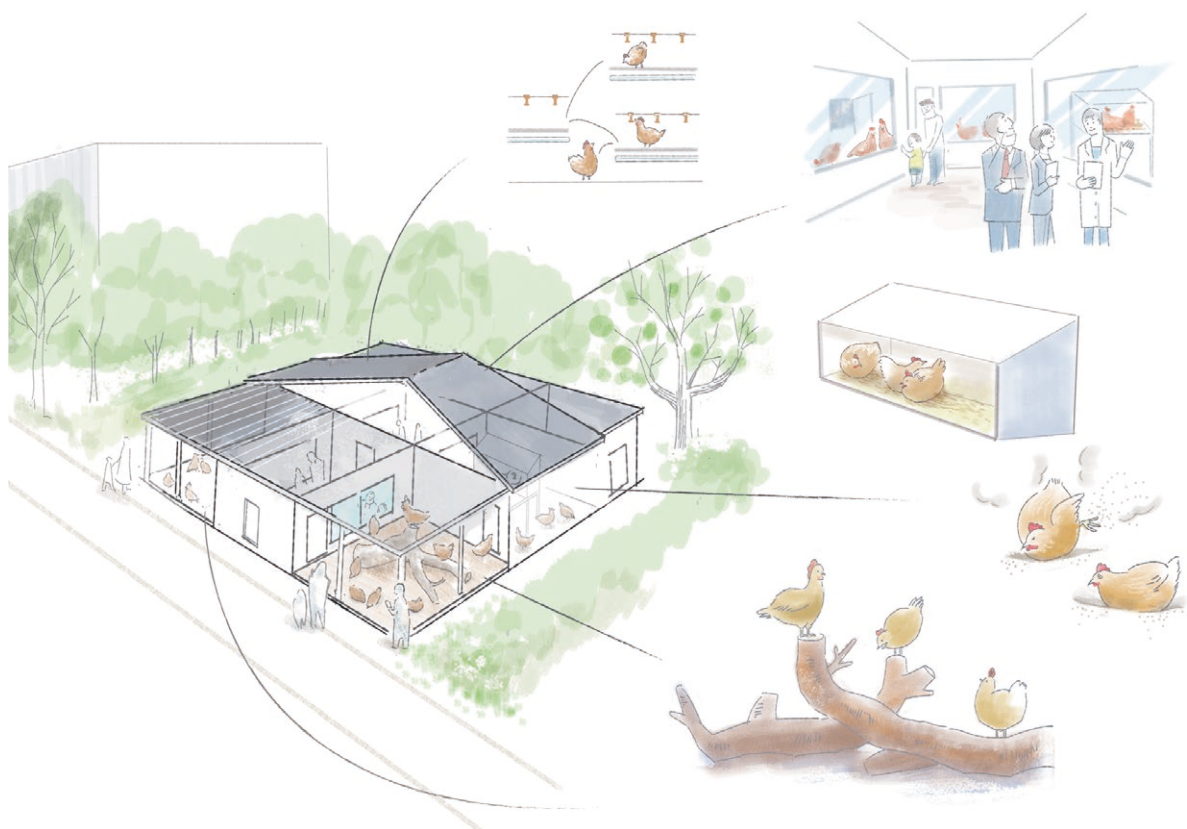
まとめると、アニマルウェルフェアの考えとは、人間が動物を利用したり屠殺して食べたりするのをやめるということではなく、また手を合わせて「いただきます」と感謝することだけでもなく、そのような動物の利用を許容しながらも、動物の一生を通じて、動物の状態をより良くすることである。今後さらに母鶏とヒナの母子間コミュニケーションの詳細を明らかにし、動物の状態を「把握」する技術と、ロボットをつかって「操る」技術を連動させることで、動物との会話を実現するアニマルコンピュータインタラクション技術の構築を目指していきたい。

column

動物福祉モデル鶏舎Unshelledの試み

2025年、東京農工大学農学部（府中キャンパス）に動物福祉モデル鶏舎「Unshelled（アンシェルド）」が新設された。鶏舎の名前であるUnshelled（アンシェルド）とは、“覆われていない”という意味を持つ言葉である。開放的な空間で飼育されているニワトリが観察できる透明性の高い鶏舎で、また、既存の枠組みにとらわれない“殻を突き破る”革新的な研究とイノベーションを生み出そうという思いが込められている。

この鶏舎は、着替えることなく入室できる見学室が中央にあり、中央から放射状に3つのニワトリが飼育されている部屋が設置されている。3つの部屋には、ケージやケージフリー（放し飼い）など計4つの飼育システムが導入されており、見学室から窓越しにそれぞれの飼育のようすを見ることができる世界初の鶏舎である。



この鶏舎は、アニマルウェルフェアの研究と教育普及という2つの目的を持っている。研究については、この多様な飼育システムの比較研究により革新的な循環型システムの創造を行うことを目的とし、Animal Computer Interactionを用いたヒナの育雛の研究などを進めている。その他にも、放し飼いではニワトリの代謝や腸内細菌等が変化し、それらの代謝物が血液を介して卵黄に移行することで、卵のうま味や栄養価が高くなることを明らかにしており、それを食べる人もまた健康になることができるOne Welfare(動物と人と地球の健康を一体的に捉える考え)を実現しようとする研究を展開している。

教育普及については、多様なステークホルダーが集って議論するための共感の場を提供することを目的とし、ケージやケージフリーのニワトリの行動を肌で感じつつ、生産性・経済性といった情報を共有し、フェアな議論を基に、日本で目指すべき方向性を対話の中で協調的に捉えることを目指している。



動物福祉モデル鶏舎Unshelledのケージフリー(放し飼い)環境で育つニワトリたち



新村 毅 (しんむら・つよし)

麻布大学獣医学部卒業、同大学院獣医学研究科博士後期課程早期修了。学振PD / 名古屋大学大学院生命農学研究科を経て、2013年、基礎生物学研究所特任助教、2016年より東京農工大学農学部生物生産学科准教授。2021年より・同大学教授。

10匹か？1匹か？ 集団で生きることの意義



古藤日子 産業技術総合研究所・細胞分子工学研究部門

仲間がいるのが当たり前の社会性動物は、仲間がいなくても健康に幸せに生きられるのでしょうか？生物学者はこの問いを80年以上も問い続けています。社会性動物としてヒトよりもずっと歴史が長く、数も多いアリの社会から、私たちは何を学べるのでしょうか？みんなと一緒にの集団アリと、一人ぼっちの孤立アリの実験を丁寧にみていきましょう。

CHAPTER

1. アリの複雑でしなやかな社会

2. アリを使って社会性を研究する

3. 仲間がいれば生きられる

4. 仲間がいると健康でいられる

5. 集団で生きることの意義

1. アリの複雑でしなやかな社会

「ありくん、きみは、あつい夏のころからずうっとはたらきどおしだね*」—イソップ童話『アリとキリギリス』の中で、ビスケットのかけらを運ぶアリに、呑気なキリギリスはこう話しかけます。子供時代に誰もが読んだことのあるこのお話の通り、私たちがアリに抱くイメージは、家族のために勤勉に働き、みんなで仲良く暮らす姿なのではないでしょうか。近年の研究では、アリの血縁でつながる社会性の始まりは、今から1億年前の白亜紀にさかのぼるといわれています。ティラノサウルスなどの恐竜が闊歩する時代です。アリは、集団で生きることによって世界中に生息域を広げ、現在に至るまで陸上の生態系の中で最も繁栄してきた生物のひとつとされています。世界中のアリの総数は少なくとも2京（1兆の2万倍）匹、そのバイオマス（生物量）は、哺乳類と鳥類を足したよりも多いのです。

アリやハチ、シロアリといった社会性昆虫の社会は血縁関係にある家族の集団ですが、形態や役割の異なる複数の階級に分かれています。アリの場合、その中で子供を産むことができるのは「女王アリ」だけです。ひときわ体が大きく、生殖のための卵巣が発達しています（図1.a）。一方で、私たちが道端でよく見かけるのは「働きアリ」です（図1.a）。遺伝的にはすべてメスですが、自分で子供を産むことはありません。母親である1匹の女王アリを中心とした社会（コロニー）の一員として暮らし、女王アリが産んだ自らの姉妹を育てることでコロニーの拡大と繁栄を支えます。また、働きアリは、1匹1匹が社会の中で異なる仕事を分担する労働分業制を備えています。蛹からかえった若い働きアリは巣の中で女王アリや幼虫の世話をし（内勤）（図1.b）、年をとった働きアリ

は巣の外に出て餌取りや見回りなどを担当します（外勤）（図1.c）。一生涯をかけて、社会に必要な仕事を絶え間なく順繰りに分担していく仕組みが備わっているのです。



（図1）オオクロアリ

a：女王アリ（右）と働きアリ（左）。

b：卵（左）と幼虫（右）の世話をする働きアリ。

c：ミールワームと戦う働きアリ。蟻酸を出して攻撃し、弱ったところで嘔みつき体液を吸い出して食べる。

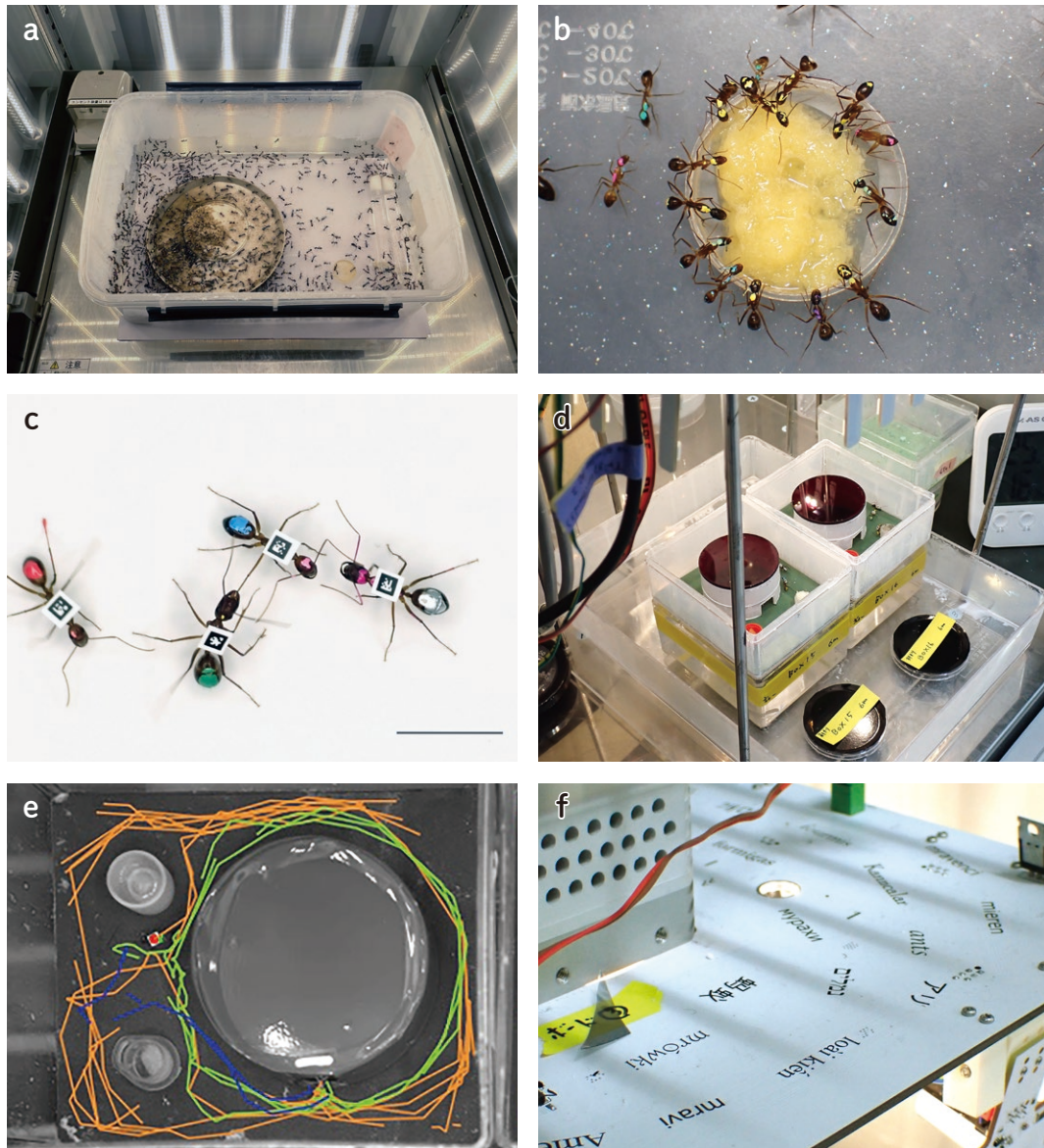
* 文：川崎洋，絵：みやざきひろかず 他，世界名作おはなし絵本 イソップどうわ2，小学館，2007。

2. アリを使って社会性を研究する

東京大学の学生だった頃、私が研究対象としていたのは、ショウジョウバエという体長2-3mm程度の小さなハエです。この生きたハエの細胞が自殺していく「細胞死」の様子を、ライブイメージングで観察していました。細胞は、電気的シグナルやタンパク質などをお互いに受け渡ししながら（細胞間コミュニケーション）、個体としての恒常性を維持しています。同じ組織の中でも細胞ごとに役割が異なり、生死という運命もその働きの中で決まっていきます。そしてしだいに、この細胞間の振る舞いを個体間の関係性に置き換えて見てみたい、社会性と呼ばれるその仕組みを生命現象として明らかにしたい、と考えるようになったのです。そこで注目したのが、アリです。飼育が容易なだけでなく、働きアリの場合は寿命が約1年と短いため、生まれてから死ぬまでを1匹ずつ追跡することができます。また、進化的にはヒトから遠い生物でありながら、似たような社会性行動を見せることも知られています。例えば、仲間に餌の場所を教えたり、窮地の仲間を助けたり、傷ついた仲間を治療したり、仲間と一緒に戦ったり。このような行動の背景には、生きものの間のどんな共通性と相違性があるのでしょうか？ さらに、アリは研究室内での交配が難しく、分子レベルでの研究は長らく遅れをとっていましたが、当時、急速にゲノム解読が進み遺伝子情報基盤が整いつつありました。私は、アリをモデルとして社会と健康の関わりを細胞や遺伝子から読み解くことを目指し、学位取得後にスイスのローザンヌ大学へ留学しました。

私が在籍した社会性昆虫の生態学に取り組む研究室では、結婚飛行^{注1)}を終えたばかりの女王アリを野外から採集するところから研究が始まります。この1匹の女王アリによって新しいコロニーがゼロから作られるのです。研究室に持ち帰り、産卵させ、何年もかけてコロニーを拡大させた後

(図2.ab)、働きアリを実験に使用します。例えばオオアリ (*Camponotus fellah*) では、女王アリの寿命は10年以上であり、研究室内でコロニーの維持や繁栄を助けてあげること、何年間も継続して同じコロニーを実験に使うことができます。私の留学時には、働きア리를 個体ごとに長期間追跡することで、その社会性行動を定量評価するシステムがまさに完成したところでした。背面に二次元バーコードを貼り付けて1匹1匹を識別し、飼育箱内での行動をモニター上で追いかけて、その軌跡を解析する方法です(図2.c-f)。



(図2) オオアリの飼育およびバーコード行動実験の様子

a: 縦25×横38cmの容器内では、常時800匹前後のアリが飼育されている。

b: 飼育時の餌。ハチミツと卵を基本に作る。

c: バーコードを貼り付けたアリ。体のペイントは月齢(誕生月)を示す。スケールバーは1cm。

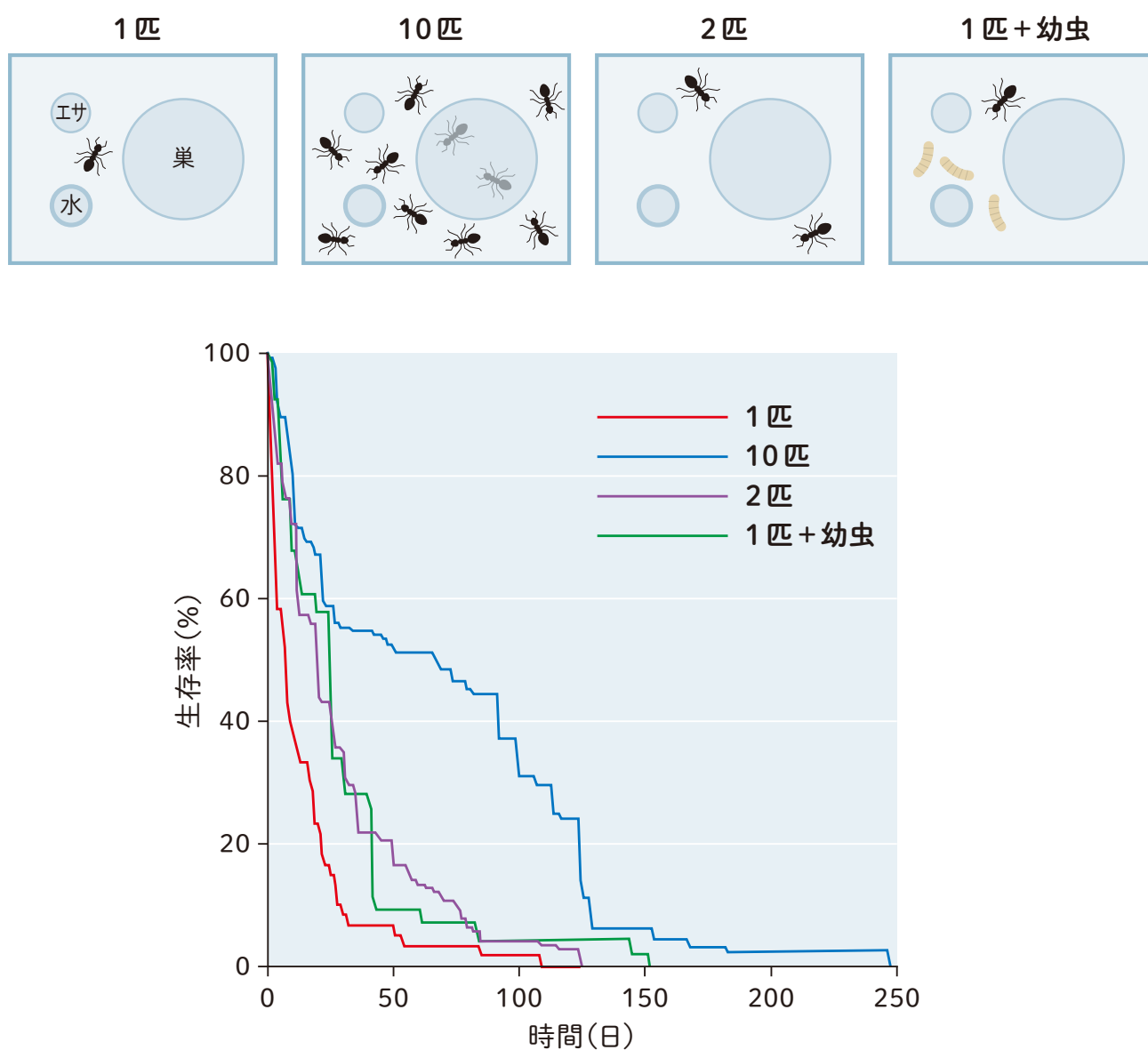
d: 実験システム。中央にある四角い2つの箱にバーコードアリが見える。

e: 個体ごとに色分けされた行動の軌跡。

f: 実験システムには、開発にたずさわったスイスの研究者によってこんな楽しいイタズラが、世界中の言葉で「アリ」と書かれている。

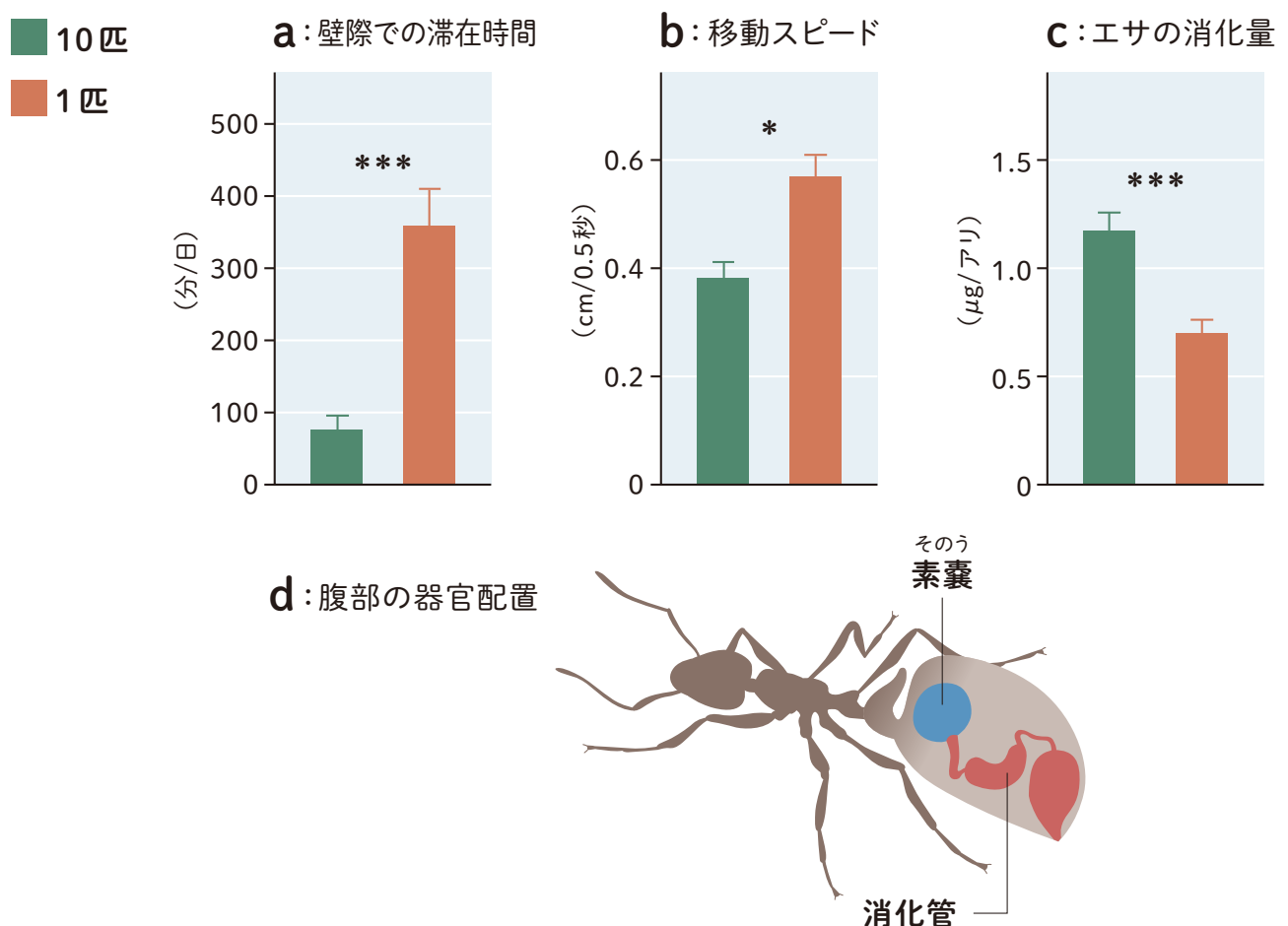
3. 仲間がいれば生きられる

アリを含む社会性昆虫は、集団から孤立するとどのように振る舞うのか——この素朴な疑問は今から80年以上も前にパリ大学（当時）のGrasséらによって研究されています。複数種のアリやハチを元の社会から切り離し、10匹、5匹、3匹、2匹、1匹というように同居する個体数を変えて飼育し、寿命を調べました。その結果、集団の個体数が多いほど寿命が長くなる傾向があり、1匹の個体は顕著に寿命が短くなりました。この研究を受け、研究室で飼育したオオアリを使って同様の実験を行ってみると、やはり10匹で飼育した集団環境（集団アリ）が平均66日と最も長寿で、1匹の孤立環境（孤立アリ）が6.5日と最も短命だったのです。2匹の場合や、1匹のアリと幼虫数匹を一緒にした場合は、1匹のときよりも平均で3倍以上長生きし、集団アリと孤立アリの中間的な寿命となります（図3）。



（図3）飼育実験方法と同居数による寿命の変化

次に、集団アリと孤立アリでバーコードを使って行動の違いをみると、集団アリは10匹での飼育をスタートしてから24時間以内に、巣外で見回りや餌取りをする個体と、巣内で長い時間を過ごす個体と、まるで元のコロニーにいる時と同じような分業が成立することが明らかとなりました。一方で、孤立アリは巣の中に入る時間が減少し、飼育箱の壁際で長い時間を過ごします（図4.a）。落ち着きがなく絶えず動き回り、不安様行動^{注2)}にも見えます。巣内に留まる個体の多い集団アリと比べ、巣外をウロウロする孤立アリでは、移動距離やスピード（図4.b）も上がり、活動量が増えます。さらに私たちは、餌を与えてから24時間後の集団アリと孤立アリで、摂取量は変わらないにもかかわらず、消化量は孤立アリで少なくなることを確かめました（図4.c）。腹部には、食べた餌を仲間に分け与える栄養交換^{注3)}のために貯蔵しておく袋状の素囊（そのう）と、自身の生命維持のために消化する消化管があります（図4.d）。孤立アリでは、素囊から消化管へ運ばれる餌量が少なくなり、栄養交換の相手がいないため餌が吐き出されずに素囊にたまることと、消化不良との間には、何か機能的な理由があるのでしょうか？この点についてはよくわかりませんが、活動量が多いのに餌の消化量は少ないという、エネルギーの消費と供給がアンバランスな状態では、寿命が短くなるのも不思議ではありません。



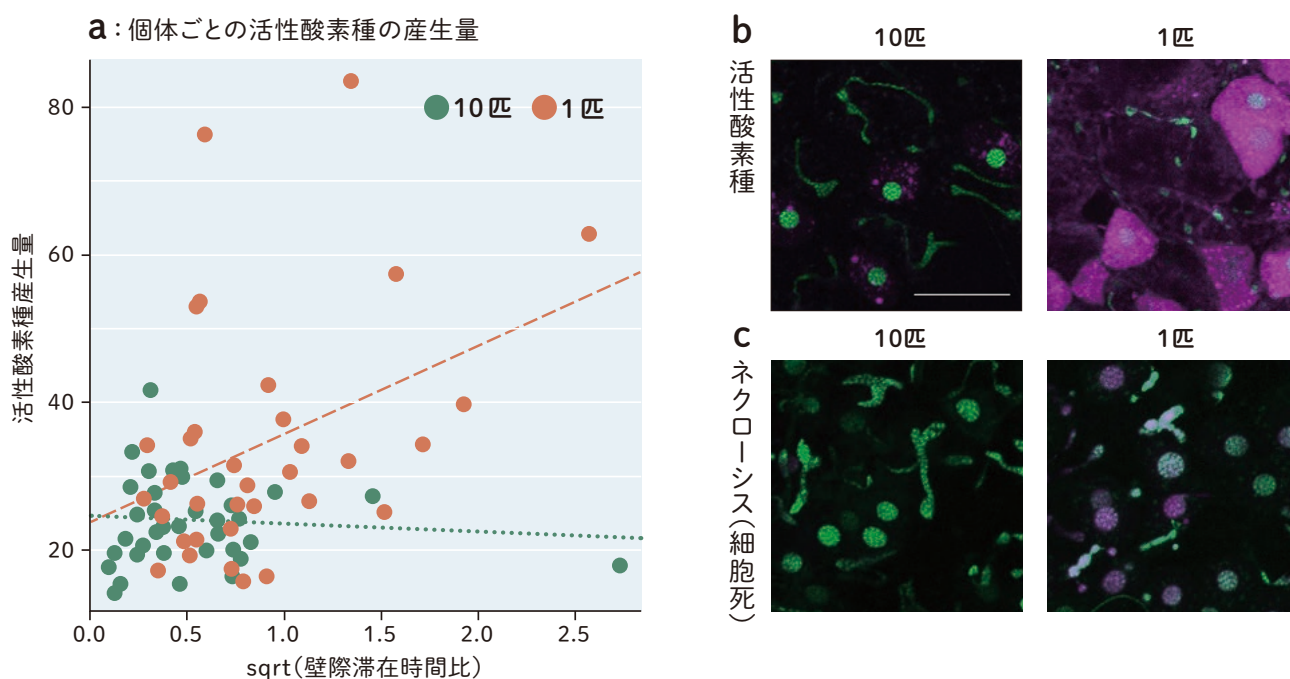
（図4）行動解析と餌の消化量

a-c: エラーバーは、棒グラフで表される平均値からのデータのばらつきを表す。

*: 10匹と1匹で統計的に意味がある差(有意差)がある場合に付され、その数が多いほど差が大きい。

4. 仲間がいると健康でいられる

それではなぜ、集団のメンバー構成によって、寿命や行動が大きく変化するのでしょうか？ その生理的な仕組みを理解するために、私たちは集団アリと孤立アリの遺伝子発現（行動実験から24時間後）を網羅的に調べ、行動変化の定量データと比較することにしました。孤立アリの中には、巣に入らずに飼育箱の壁際をずっとウロウロするものだけでなく、1匹でも平気とばかりに巣の中で過ごすものなど、色々います。行動と遺伝子発現の相関関係を調べたところ、孤立アリの中でも壁際に滞在する個体ほど、活性酸素種^{注4}の産生量が上昇していることがわかりました（図5.a）。この活性酸素種は、過度な運動や加齢によって増加することが一般的に知られていますが、集団アリにおいて餌取りや見回りを担当する活動量が多い個体での上昇はみられていません。また、実験に使用した個体は月齢をそろえています。つまり、集団から孤立することが要因で、高い酸化ストレス^{注4}が引き起こされている可能性があるのです。また、部位ごとの分析では、頭部や消化管よりも、腹部にある脂肪体とエノサイトと呼ばれる組織から構成される場所で、とりわけ高い酸化ストレスが生じ（図5.b）、細胞死に至るほどのダメージを負っています（図5.c）。これらの組織は、エネルギー代謝や解毒など哺乳類における肝臓に相当する機能をもちますが、体表炭化水素の合成器官でもあります。体表を覆うワックス状の成分で、コロニー内の仲間を見分けたり、乾燥から身を守ったり、個体間コミュニケーションや体の保護には欠かせません。エノサイトでの細胞死が増えれば、体表炭化水素の合成量も減ることが予想されます。

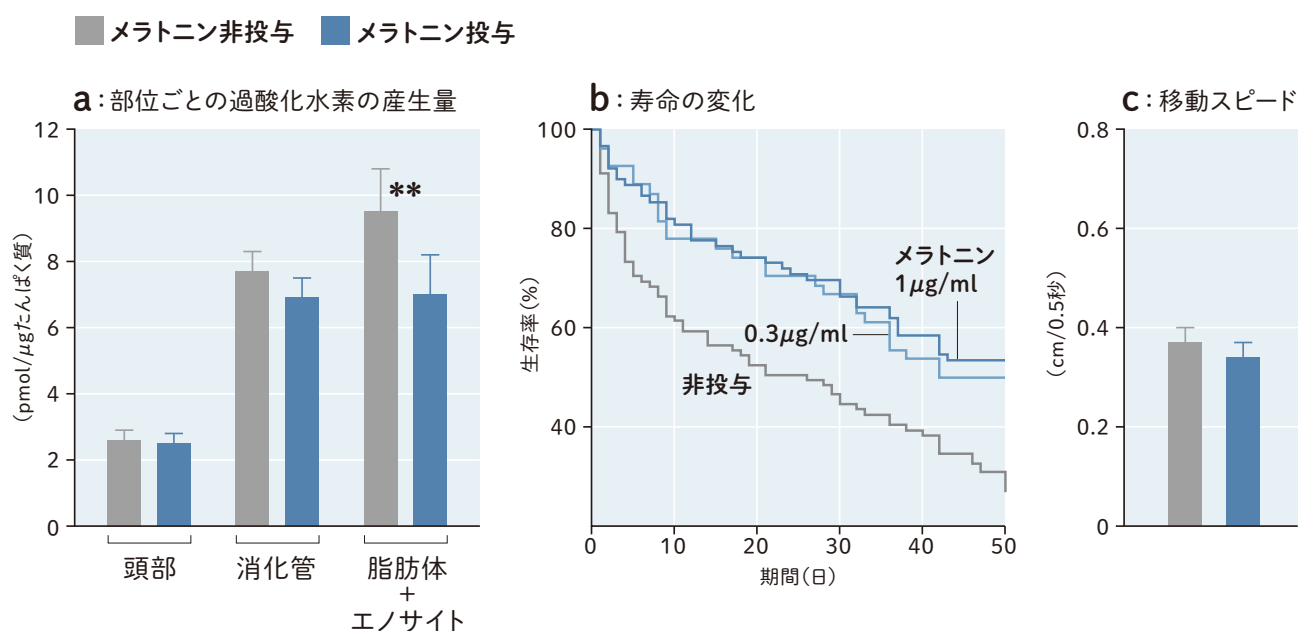


（図5）活性酸素種の産生と細胞死

a: 横軸は、壁際滞在時間/巣内滞在時間の平方根。相対的に壁際に過ごす時間を示す。

bc: 活性酸素種とネクロシスがピンク、細胞核が緑。スケールバーは50 μ m。ネクロシスとは、細胞の内部および外部からの様々な傷害により生じる細胞死のこと。

では、酸化ストレスと寿命や行動の変化には、どのような因果関係があるのでしょうか？この疑問に答えるために、メラトニンと呼ばれる薬剤を孤立アリに投与する実験を行いました。飼育箱内の水に溶かして飲ませるのです。このメラトニンは、微生物から哺乳類まで広く存在し、私たちヒトでは、睡眠や覚醒などの生体リズムを調整するホルモンとして有名ですが、昆虫では、酸化ストレスから細胞を保護する抗酸化作用^{注4)}をもちます。その結果、メラトニンは、脂肪体+エノサイトのみで効果的に働き、活性酸素種の産生量が減少しました(図6.a)。そして、寿命の短縮が回復し(図6.b)、壁際に長く滞在するという特徴的な行動も、集団アリと同等レベルにまで緩和されたのです。この実験により、孤立アリが短命になり、壁際をウロウロと歩き回るのは、集団から孤立したことにより脂肪体+エノサイトで局所的に生じる酸化ストレスに起因するのではないかという方向性がみえてきました。さらに、メラトニンを投与しても移動距離や移動スピード(図6.c)に変化がなかったことは、活動量の増減よりも壁際にいるかどうか、アリの寿命と健康に関わる重要な行動指標の一つであるという大きな発見となりました。



(図6) メラトニン投与実験

a: 過酸化水素は活性酸素種の1種。

5. 集団で生きることの意義

これまでの研究から、集団でいること——例えば、世話をする幼虫がいること、栄養交換をする相手がいること、仕事を分担する環境があること——で、アリはより長く、より健康に生きることができるのかもしれません。コロニーを維持し、子孫を1匹でも多く残すという生物としての大仕事に参加することが、集団で生きる意義と言い換えることもできそうです。さらに、図4および6のエラーバーや、図5の1つ1つの点に、平均的な動きとは別の動きをする個体の存在がみてとれます。10匹か？1匹か？でダイナミックに運命を変えるアリが多い中で、そうではないアリが必ずいることを、最後に付

け加えておきます。このような存在も、アリの複雑でしなやかな社会を支える大切な一員なのでしょう。今後もアリモデルを使って、社会と健康に関わる分子メカニズムの理解を進めていきたいと考えています。

注)用語説明

1. 結婚飛行

翅をもつ女王アリとオスアリが巣から飛び立ち、空中で交尾をする。その後、女王アリは翅を切り落とし、巣穴を掘って産卵。ここから新しいコロニーが始まる。

2. 不安様行動

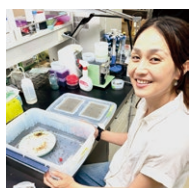
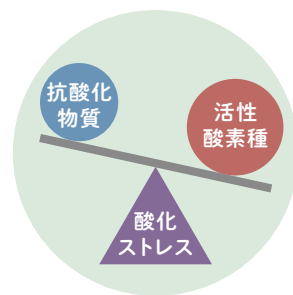
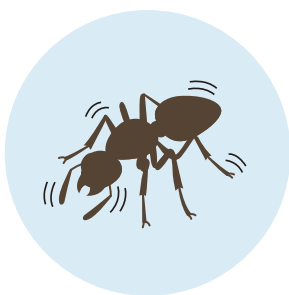
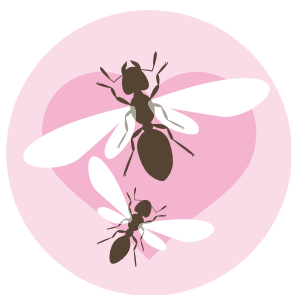
ストレス下に置かれた際に現れる行動。ラットやマウスによる実験では、すみっこを好むというアリと似たような習性がみられる。

3. 栄養交換

餌（栄養）や体表炭化水素を口移しで与え合い、コロニー内で共有する。大切な個体間コミュニケーションの1つ。

4. 酸化ストレス

体内での酸化と還元のパランスが崩れた状態で、有害な生体反応を及ぼす。活性酸素種は酸化作用をもち、抗酸化物質はそれを打ち消す還元作用（抗酸化作用）をもつ。ヒトにおいても、様々な病気のリスクを高め、老化を早めることが知られている。



古藤 日子 (ことう・あきこ)

東京都出身。東京大学大学院薬学系研究科博士課程修了。同大助教を経て、2017年より国立研究開発法人産業技術総合研究所・細胞分子工学研究部門研究員。2025年からは、研究グループ長を務める（現職）。専門は行動生態学、分子生物学。今年4月には『ぼっちのアリは死ぬ』（ちくま新書）を上梓。結婚飛行の日には、産総研の敷地内で2人の子供たちと女王アリの採集を行う。

金久 實

京都大学特任教授/有限会社パスウェイソリューションズ取締役

生命システムをデータベースに描く



写真：大西成明

Biography

1948年
長崎県生まれ
1970年
東京大学理学部物理学科卒業
1975年
東京大学大学院理学系研究科物理学専攻
1976年
理学博士
米国ジョーンズ・ホプキンス大学
医学部博士研究員
1979年
米国ロス・アラモス国立研究所博士研究員
1981年
米国ロス・アラモス国立研究所正研究員
1982年
米国国立衛生研究所 (NIH) 主任研究員
1985年
京都大学化学研究所助教授
1987年
京都大学化学研究所教授
1991年
東京大学医科学研究所ヒトゲノム
解析センター教授(～1995年)
2002年
東京大学医科学研究所ヒトゲノム
解析センター教授(～2012年)
2012年
京都大学化学研究所特任教授
有限会社パスウェイソリューションズ取締役

Awards

2001年 大川出版賞
2018年
クラリベイト・アナリティクス引用栄誉賞
2019年
Protein Society Carl Brändén Award
2024年 小林財団 小林賞

兄の背中をおいかけて

父は、医者で九州大学の医学部に勤めていました。九州大学では戦時中、生体解剖事件というのがあり、そのころ父は、それに関わる別の事件の証人として巣鴨プリズンに召喚されていました。上坂冬子さんの本に詳しいのですが、裁判では父の証言によって全員が無罪となったそうです。そこに裁判中、「金久夫人も二人目の子が臨月にさしかかっていた」と書かれているのが私です。母は、実家の長崎に行き、私が生まれたのです。母の父親は役人で、いろいろなところを転々としていましたが、1945年に長崎で原爆にあい、連れ合いである私の祖母と母の一番下の弟であった息子の二人を原爆で亡くしていました。

生まれは長崎ですが、その後福岡に戻って、幼稚園、小学校に行きました。ふつうの子供で、何かに特に熱中したということもありません。2歳上の兄と2人兄弟で、兄が活発で私は内気な性格で、何でも兄を追いかけていたイメージでした。教育熱心だった母の勧めで、英会話教室に通い語学は得意でしたが、だんだん算数や理科が好きになりました。小学校5年生の時に父親が九大から鹿児島大学の医学部に転勤になって、6年生の1年は鹿児島の小学校に通い、兄が進学した鹿児島の中高一貫校のラ・サール学園に入りました。

大学も兄がそうしたので東京大学の理科一類に。両親はもしかしたら医者になることを期待していたかもしれませんが、後継が必要な開業医ではなかったので、自由にさせてくれました。当時は湯川秀樹さんがノーベル賞を受賞し、物理学者は尊敬の対象でしたし、兄が一番の難関だった物理学科に進んだので、私も負けじと物理を選びました。兄は、固体物理を選んで、大学院終了後はフランスで研究を続けましたが、私は自然科学が好きだったので、生物や宇宙などの自然を物理で明らかにすることに興味がわきました。中学や高校で習ったマクロなレベルの生物学は関心がなかったのですが、大学で生物物理を学んで、物理や化学で生物を扱うことができると知ったのです。



6歳のとき、父と兄(左)と。子供時代、兄は社交的、自分は内気な性格だった。

01

コンピュータで生物を理解する

02

4年生の時に実習で、東大の大型コンピュータを使う機会があって、プログラミングやコンピュータにのめり込みました。まだ、パンチカードを使ったコンピュータの時代でしたがとても魅力を感じたのです。実験があまり好きではなかったこともあり、コンピュータが使える研究がしたいと考えました。当時、生物物理には和田昭允先生と池上明先生がいらっしゃいましたが、コンピュータの利用に理解をお持ちだった池上先生の下で研究を始めました。先生が実験をしたデータをコンピュータで解析するのです。研究室には行かず、ほとんど大型計算機センターに入り浸りでした。博士論文は、タンパク質の構造を理論的モデルによって検証する、という内容でした。現在のように配列から立体構造を予測する、というわけではありません。実験で温度を上げたり、尿素を入れたりタンパク質を変性させると形が変わるので、測定したデータに合わせてモデルをつくり、理論的に検証するという方法です。物理学を背景に生物を理解し、方法論として理論とコンピュータを使うという研究姿勢はここで培われたと思います。

大学院時代といえば、「荒軽人一座」というフォークグループで音楽活動をして、レコードを出したんですよ。当時は東大全共闘の時代で、授業どころではない雰囲気でした。私はシンパのほうでしたが、仲間が集まってスナックで歌っていたところをスカウトされたのです。友人の高橋君が作詞作曲した「おでんの唄」を、もう一人ギターの上手いメンバーと3人で歌い、ラジオに出演したりスキー場で演奏したりしました。NHKの「みんなのうた」に使われて、かわいらしいアニメーションになったのですが、残念ながら残っていないそうです。活動は1年くらいでしたが、楽しかった青春時代の思い出です。



大学院時代、フォークグループで歌い「おでんの唄」でレコードを出した。楽しい青春の一ページ。(本人：右)

アメリカで基盤を築く

大学院を出てアメリカへ留学しました。池上先生の紹介でジョンス・ホプキンス大学のティエソン先生の元に、同じ研究室の

1年上の先輩と2人で行ったのです。大学院の研究の発展として、実験データをコンピュータで解析をするというスタイルで3年くらい研究をして、論文を何本も書きました。ところが先輩は帰国して助手になりましたが、私は日本に呼び戻してもらえませんでした。当時は、なかなか職がなく、帰国してもオーバードクターが普通でしたので、日本に帰るのは諦めて、自分で道を切り開いて、アメリカで身をたてる決心をしました。何十という研究機関に手紙を出して、いくつか面接までいきましたが、最後まで残ったのがロス・アラモス研究所でした。ロス・アラモス研究所といえば、オッペンハイマーが原子爆弾を開発する目的で設立し、実際に広島や長崎に投下された爆弾を製造した場所です。母の気持ちを慮り、許可をとるべきと思って相談しました。「やりたいことをやりなさい」と言ってもらえ、就職を決めました。東海岸のボルチモアから、ニューメキシコ州まで車を運転して一週間。軍事研究用の施設なので山奥にあり、人家もろくにない一本道で、途中吹雪にであって危うく遭難するかという目にあい、ようやく辿り着きました。

ロス・アラモスでは、理論生物学という全員がコンピュータで分子生物学の解析をしているグループに入りました。残り物のように言いましたが、結果的には、DNA配列のデータベースを始めるというタイミングに運良く居合わせることになったのです。DNA解析の実験手法が確立して、遺伝情報としてのDNA配列のデータが集まり始めたころでした。リーダーのゴード先生は、物理学から生物学に移られて、物理学をベースにコンピュータを活用した数理生物学を推進していました。メンバーはゴード先生を中心に、DNAやアミノ酸の配列を数学的に扱うためのアルゴリズムを開発していました。DNA配列からアミノ酸配列は、生物学的なルールで変換されますが、その先の機能がどのような配列のパターンとして抽出できるかは、蓄積したデータを比較して解き明かすことになります。私は、ゴード先生と類似するDNA配列を探索し、並置するゴード・カネヒサルアルゴリズムを作りました。同じ頃、今も使われているSSEARCHというプログラムのアルゴリズムを同じチームのテンプル・スミスとマイク・ウォーターマンが開発しています。同じアイディアがベースになっていますが、彼らの方法は一番似ている箇所を1つ探すのに対し、私たちの方法は、すべての候補を挙げるとい



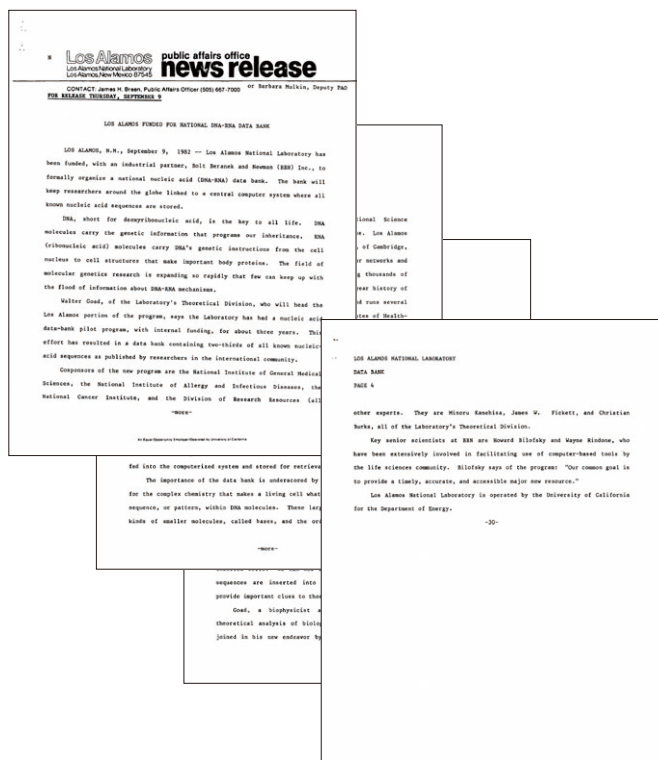
ロス・アラモス研究所で母と。長崎の原爆で母親と弟を亡くした母に自分の道を認めてもらえた。

うやり方です。遺伝子のように同じくらいの長さの配列同士の比較にはSSEARCHが優れていますが、ゲノム配列のように長さが異なり、途中で組み換えが起こっている配列を比較するには、私たちの方法が向いています。現在でも使うことができる、ソフトウェアの基礎を築いたと考えています。



データベースとの出会い

配列解析のための資源を最大限に確保するには、DNA配列のデータベース化が必要です。そのころ国立衛生研究所（NIH）がDNAのナショナルバンクを設置する構想の提案を募集しました。それに、ゴード先生が応募したのです。アミノ酸のコード表記を考案し、アミノ酸置換のデイホフマトリクスで有名なマーガレット・デイホフなど、他にも有力な研究者が手を挙げました。彼女のタンパク質配列のデータベースは、当時最大のデータを持っていたのです。ちょうどヨーロッパのEMBLでもDNAデータベースの制作が進んでおり、NIHは判断を迫られていました。最終的にロス・アラモスが5年間の資金を獲得し、ゴード先生は核酸配列の収集、保存、分析、配布を目的としたパイロットプロジェクトを開始しました。最初のデータベースは、論文に掲載されているDNA配列データを手作業で入力していました。何重にもチェックしたり、アノテーションする（注釈をつける）作業に私も参加しました。Fortran言語で書かれたデータ管理システムを使い、リレーショナルデータベースを操作するSQL言語に初めて触れたのは、この時です。統計学やデータ管理システムの考えを本格的に生物学として取り入れる経験を積みました。2年間制作に関わった後、出来上がったDNAデータベースGenBankを広める立場でNIHに出向し、そのままNIHの研究者になりました。



ロス・アラモス研究所からの核酸データバンク発表のプレスリリース（1982年9月9日）。貢献者として名前があがっている。

NIHには4年ほどいました。後半の2年は、後にヒトゲノムプロジェクトの米国エネルギー省（DOE）での提案者となるチャールズ・デリシさんがNIHの理論免疫学におられて、一緒に解析ツールやデータベースシステムの開発をしました。FRAMISというデータベース管理システムを用いてタンパク質とDNA情報の統合データベースを試作しました。その時つくった検索コマンドが帰国後にデータベースを提供するときに生きてきます。データベースの配列データを用いて、配列比較の検証や実際にウイルスのゲノムの比較やタンパク質の分類も試み、研究のスタイルを確立しました。配列解析からコンピュータで遺伝子やタンパク質の機能予測をすることが現実味を帯びてきたのです。

日本のゲノムプロジェクトを始める

兼ねてから日本への帰国を希望していたのですが、ちょうど日本でもDNAのデータベースを立ち上げる動きがあり相談を受けました。京都大学の化学研究所では大井龍夫先生が中心になりDNA DATABANKを始められ、国立遺伝学研究所ではDDBJが、塩基配列データベースの欧米日三極の日本ノードとして動き出しました。タンパク質配列のデータベースは、対象となるデータや目的によって海外でも日本でも複数の試みがあり、集約が議論されていました。結果的に私は京大に移って、スーパーコンピュータの導入を手掛けました。アメリカでデリシさんがヒトゲノムプロジェクトに移り、日本でも大学の恩師である和田昭允先生がDNAの自動解析を提唱したり、松原謙一先生が、国際ヒトゲノム機構（HUGO）の副会長に就任したりと、ヒトゲノム解析へ機運が高まっていた時期でした。

ゲノム解析には情報科学が必要ということで、日本のヒトゲノムを推進する懇談会にお声がけいただいたので、審議会などでヒトゲノムプロジェクトやデータ解析の重要性を説くことから始めました。その結果、1989年に「ヒト・ゲノムプログラムの推進に関する研究」という科研費のプロジェクトが始まり、91年にそれを継ぐ情報科学を

日本のゲノム研究プロジェクト開始にむけた公開シンポジウム。この後、重点領域研究「ゲノム情報」を立ち上げた。（本人：中央）



軸とした重点領域研究「ゲノム解析に伴う大量 知識情報処理の研究」(ゲノム情報)の代表研究者となりました。米国が主導でヒトゲノムプロジェクトが始まりましたが、日本では大腸菌などの実験生物が対象で、ヒトゲノムの解析はまだ準備段階でした。それでもこれから大量の情報が発生する時代が到来すると、データの処理や解析、どのように表現し集約するかなど情報科学に大きな期待が寄せられました。東京大学医科学研究所にヒトゲノム解析センターが研究拠点として設置され、私も兼務になりました。

ゲノム情報の基礎をつくる

当時の日本には生物学の一分野として情報科学を研究する人材もインフラストラクチャーもありませんでした。人材については、時を同じくして、旧通産省が主導した第五世代コンピュータ計画が「遺伝子処理ワーキンググループ」を設置したことで、その実施機関のICOTのメンバーと人的なつながりができたのです。並列処理や知識処理といった情報科学のスペシャリストである若手研究者が、ゲノム分野に参入してくれました。おかげで、単にデータ処理やツール提供などの実験サポートではなく、大量データを用いた高度な解析が期待されていたゲノム情報解析のニーズと知識情報処理のシーズが融合する形でスタートを切れました。夏にはゴードンカンファレンスをイメージした泊まりがけのチュートリアルを行い、年末には英語を公用語として学会形式のワークショップを開きました。情報科学としての「ゲノム情報」を確立することができたのは大きな収穫でした。

インフラについては、技術的な進歩に後押しされ整備を進めました。ハードウェアが高度化してクライアントサーバシステムが普及し始め、京大、東大でのスーパーコンピュータの運用が始まります。インターネットの活用が始まった時期で、学生時代お世話になった釜江常好先生が東大理学部で始められたTISN(国際理学ネットワーク)に1991年に京大化学研究所が、翌年に九大にも接続し、GenomeNet(ゲノムネット)を発足しました。インターネットはまだ黎明期で運用の経験がある技術者がいなかったもので、ここでも人脈に助けられました。1993年には東大



京都大学化学研究所バイオインフォマティクスセンターのゲノムネットのホームページ(2025年現在)。1991年9月の開発開始以来、世界有数のバイオ情報サービスとして利用されている。DBGETは米国時代に構想した検索システムであり、KEGGを含む全てのデータベース検索の基幹システムである。



のヒトゲノム解析センターにゲノム解析のための超並列コンピュータが導入され、研究コミュニティに公開されました。

私自身は、このプロジェクトを通じてまずはゲノムネットのデータベースサービスを開始しました。NIHで試みたDNAやタンパク質の統合データベースを拡張して、世界の主要な分子生物学研究関連データベースを集め、研究コミュニティに提供しました。今もゲノムネットでサービスしているDBGETです。ちょうどWorld Wide Webの技術が普及して、画像などの多様なデータを扱えるようになり、データベースを渡り歩くように検索できる統合データベースが実現しました。



欧米では、NCBIやEBIのようなデータの収集拠点が公開までを含む体制をつくり、データベースを集約して提供していましたので、日本にも相当する環境をまず実現するのが大切だと考えたのです。しかし、ゲノム情報となるとデータベースの寄せ集めではなく、ゲノムの生物学的な意味の理解が求められます。すでに機能がわかっているタンパク質との配列の類似性を検索することで遺伝子の機能予測は日常的に行われるようになっていましたが、それは1つ1つの機能でそれ以上進みません。単なる計算技術だけでなく、広範な知識をコンピュータ化し大量データとの統合処理・解釈を可能にするデータベースを作り出さなくてはならないと考えていました。

生命システムのデータベース

重点領域研究「ゲノム情報」は5年で終了し、生物系と情報系を合わせて特定領域研究「ゲノムサイエンス」として新たにスタートしました。ゲノムを「生命の設計図」としてその理解を目指したデータ生産が着々と進んでいました。当時、ゲノムの配列を調べる目的はそこに存在する遺伝子を全てカタログ化することでした。ゲノム配列を設計図とするならタンパク質や機能性RNAといった生命を構成する部品のつくり方が書かれた「部品の設計図」です。しかし、部品が集まれば生命がつかれるか、と言えばそんなことはありません。そこでシンポジウムでの講演でやや

過激な発言でしたが「ゲノムを中心にまわっている考えは天動説に等しい」と主張しました。

ゲノムは細胞にあり、細胞には連続性があり歴史がある。そういう流れの中でゲノムを捉えるべきだと考えていました。細胞から細胞に伝えられるのはゲノムだけではありません。細胞ではさまざまな細胞小器官がはたらき、タンパク質や核酸などの高分子だけではなく、多様な低分子の化合物もあります。これらがどのようにつながり合っているのかの配線を示さなければ「生命の設計図」にはなりません。それらが細胞でどのようにはたらき、その結果どのような高次の機能を担い、個体の生命活動が行われているのか、そこまでを知る必要があります、その方法を示すのがこれからのゲノム情報科学の役目と考えました。20世紀後半は分子生物学が大成功をおさめた時代で、ゲノムからタンパク質への情報の流れはセントラルドグマとされ、遺伝子至上主義の考えが生まれましたが、科学の歴史を振り返れば変化は必然です。ゲノム配列という基本情報を手に入れた今、それぞれの生物がもつゲノムの部品のセットがどうはたらくかのネットワークに注目する、ゲノム説からネットワーク説への転換の段階に来ていると言いたかったのです。

当時はタンパク質の1対1の相互作用を網羅的に調べる実験がパン酵母で行われて、それをつなぎ合わせてネットワークを再構成することも期待されていましたが、既知の知識を活用して全体像を描くことができるのではないかと考えました。そこで細胞の中で行われている反応の総体、代謝マップが浮かびました。生化学系の研究室の壁には必ず貼ってありましたよね。そこで、日本生化学会が編纂した代謝マップの本をコンピュータに載せるところから始めました。これが、KEGG (Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes)の始まりです。代謝のパスウェイは、タンパク質である酵素が化合物である基質を生産物に変換する反応の集合と考えられます。酵素には国際生化学分子



生物学連合の命名法委員会 (NC-IUBMB) が管理するEC番号が振られていますが、反応と基質の種類での分類で、遺伝子や配列情報とは結びついていませんでした。酵素と遺伝子を対応づけ、それぞれのゲノムがもつ遺伝子をパスウェイにマップすれば、その生物のゲノムがもつ反応経路が明らかになります。例えば大腸菌のゲノムにある遺伝子と代謝パスウェイを重ねることで、大腸菌ゲノムの代謝機能の特徴がわかるのです。目的はそれぞれの生物のゲノム機能の再構築と可視化ですから「遺伝子とゲノムの百科事典」です。これからゲノムの配列はどんどんわかっていくことが期待できました。データをリンクで行き来する統合データベースとは全く異なる発想の知識情報でつながる「生命システム」をモデル化したデータベースを作ったのです。



KEGGを代表する代謝パスウェイの全体図 (2025年現在)。4800以上の遺伝子、3000以上の化合物がマップされ、細胞を駆動する基本システムを表現している。

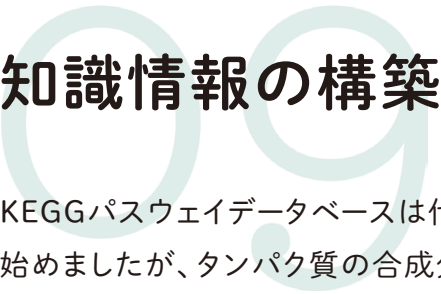
KEGG がうごきだす

KEGGを最初に公開したのが1995年12月で、初めての生物の全ゲノムシーケンス、インフルエンザ菌のゲノムが発表された年でした。翌年10月に公式リリースのバージョン1.0を発表しましたが、大変な反響がありました。最初のリリースには、インフルエンザ菌、マイコプラズマ菌、メタン菌、シアノバクテリア、パン酵母とその当時、全ゲノム解析が終了していたゲノムデータを入れました。パスウェイの絵に遺伝子や化合物を表示するために、プログラムも合わせて提供する方法が必要でした。当時は、今のようにインターネットが普及していませんでしたし、画像を動的に表示するのは時間がかかることもありました。そこで、

08

データをCDに入れたものを作って配布することになりました。CD版はまず試験的に作り、利用環境との相性を探りながら、1997年から公式に配布を開始しました。コールド・スプリング・ハーバーでの招待講演のお土産用にCDを持っていきましたが瞬間になくなりました。

1999年には「バイオインフォマティクス学会」を設立しました。アカデミアだけではなく、企業からもバイオインフォマティクスの需要が高まり、交流を深め人材を育てる意味でも学会は必要です。この頃には「ゲノム情報」のメンバーが活躍していましたので、毎年行っていたシンポジウムをそのまま年会に引き継ぐ形にしました。当初から国際ナショナルワークショップとして海外からの参加者を集めていましたので、国際的にも先端を行く試みだったと思います。バイオインフォマティクスという学問分野が発展し、私の所属もバイオインフォマティクスセンターと名前を変えました。



知識情報の構築

KEGGパスウェイデータベースは代謝マップを網羅することから始めましたが、タンパク質の合成分解に関わる過程やシグナル伝達、細胞周期、ヒトの組織や器官での反応や疾患など、あらゆる細胞現象を対象にしています。パスウェイデータは、生命システムのコンピュータによる表現です。例えば、代謝マップは生化学の知識が集約された図が出発点ですが、その他のパスウェイは、細胞内の現象を生物学的な機能として定義し、そこではたらくタンパク質や化合物の相互作用を信頼性の高い文献の実験データから抜き出して構成します。つまりキュレーターであるスタッフが表現を工夫して描いたKEGGのオリジナルの知識情報なのです。

パスウェイを構成する遺伝子は、KEGG オースロロジー (KO) のデータとしました。KOは、生物間で同義の遺伝子であるオースログを探索して集約したグループに機能を定義したもので、KO IDで識別します。新しいゲノムが追加されたときは、その遺伝子がどのKOに対応するかを決めれば、パスウェイや階層に対応



KEGG最初のリリースを発表した。インターネットが普及しておらず、CDでデータ配布した。



「ゲノム情報」からバイオインフォマティクス学会へと引き継がれたGenome Informatics Workshopの予稿集。オリジナル論文を投稿し、査読が行われる論文誌の役割もあった。



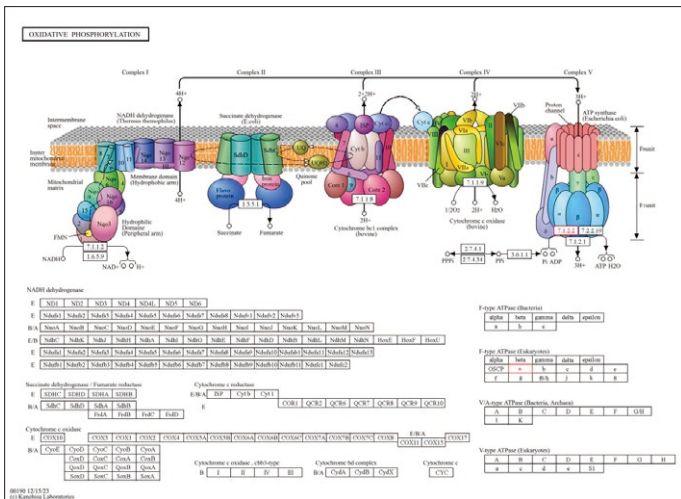
KEGGのホームページ (2025年現在)。ロゴの卵は開始時からのシンボル。カラーコードを定義して、視覚的なわかりやすさが特徴である。

づけることができるのです。KOグループは、それぞれのゲノムに含まれる遺伝子の総当たり戦で配列が似ているセットを取り出します。実際に配列が似ているというだけでオーソログと呼べるかは難しく、計算による半自動、キュレーターが見て遺伝子ごとに判断する半手動で決めています。経験から得られた判断基準を知識として取り込んだ遺伝子アノテーションツールを開発して公開もしていますので、一般のユーザが自分で配列を決めたゲノムをKEGGパスウェイにマップすることもできます。

化合物の情報は、酵素反応の基質や生成物やその他の機能性低分子の構造データと反応の前後の構造変化をデータベースとしました。化合物は、米国化学会の歴史あるChemical Abstractsというデータベースがありますが、KEGGが参入して以降、NCBIやEBIでも化合物の収集が始まり、生命分子の集約の先鞭をつけることになりました。

データベース全体としての統一感を維持するために、遺伝子や化合物など全ての要素に描画のルールを決め、専用のツールを開発して見た目の品質管理も大切に考えています。システムの拡張のための書き直しや形式の変換などもありますが、基本スタイルは変わっていないはずです。

部品のデータとしての遺伝子と化合物、ネットワーク情報としてのパスウェイや階層と大きく3つの要素をKEGGの基本構造として、ゲノム研究の進展を見渡ししながら、データの種類を拡張し、構成を見直していきました。



KEGGのデータ例。右図は、オーソロジ(KO)(ATP合成酵素)。Genesに種間の同義遺伝子(オーソログ)のグループを示す。PathwayはKOを含むパスウェイデータへのリンクで、左図が、一番上の酸化的リン酸化のパスウェイ。対応するKOデータは赤字で示されている。

ORTHOLOGY: K02126	
Entry	K02126
Symbol	ATP6F1a, MTATP6, ATP6
Name	F-type H ⁺ -transporting ATPase subunit a
Pathway	map01195 Oxidative phosphorylation map01105 Metabolic pathways map04714 Thiamine metabolism map05015 Alzheimer disease map05012 Parkinson disease map05014 Amyotrophic lateral sclerosis map05016 Huntington disease map05020 Prion disease map05022 Pathways of neurodegeneration - multiple diseases map05028 Chemical carcinogenesis - reactive oxygen species map04545 Diabetic cardiomyopathy
Module	map01118 F-type ATPase, eukaryotes
Disease	000068 Leber hereditary optic atrophy 001377 Infantile bilateral striatal necrosis 001384 Leigh syndrome 001355 Kearns-Sayre syndrome 001363 NARP syndrome 001369 ATP synthase deficiency
Brite	09105 Metabolism 09102 Energy metabolism 09100 Oxidative phosphorylation 09215 ATP6F1a, MTATP6, ATP6: F-type H ⁺ -transporting ATPase m 09105 Organellar Systems 09105 Environmental adaptation 04714 Thiamine metabolism 09215 ATP6F1a, MTATP6, ATP6: F-type H ⁺ -transporting ATPase m 09105 Human Diseases 09105 Cancer overview 09208 Chemical carcinogenesis - reactive oxygen species 09215 ATP6F1a, MTATP6, ATP6: F-type H ⁺ -transporting ATPase m 09105 Neurodegenerative disease 09105 Alzheimer disease 09215 ATP6F1a, MTATP6, ATP6: F-type H ⁺ -transporting ATPase m 09105 Parkinson disease 09215 ATP6F1a, MTATP6, ATP6: F-type H ⁺ -transporting ATPase m 09105 Amyotrophic lateral sclerosis 09215 ATP6F1a, MTATP6, ATP6: F-type H ⁺ -transporting ATPase m 09105 Huntington disease 09215 ATP6F1a, MTATP6, ATP6: F-type H ⁺ -transporting ATPase m 09105 Prion disease 09215 ATP6F1a, MTATP6, ATP6: F-type H ⁺ -transporting ATPase m 09202 Pathways of neurodegeneration - multiple diseases 09105 Cardiovascular disease 09105 Diabetic cardiomyopathy 09215 ATP6F1a, MTATP6, ATP6: F-type H ⁺ -transporting ATPase m 09105 Brite Hierarchies 09102 Protein families: genetic information processing 09105 Mitochondrial biogenesis 09215 ATP6F1a, MTATP6, ATP6: F-type H ⁺ -transporting ATPase m 09105 Mitochondrial biogenesis (P000000000) Mitochondrial DNA transcription, translation, and replication fact Mitochondrial DNA-encoded proteins F-type ATPase 09215 ATP6F1a, MTATP6, ATP6: F-type H ⁺ -transporting ATPase m
Other DBs	UniProt: Q08334 TrEMBL: Q08334.1 RefSeq: NM_001001
Genes	ATP6F1a (ATP6) MTATP6 (ATP6) PPV1 (ATP6) PPV2 (ATP6) PPV3 (ATP6) PPV4 (ATP6) PPV5 (ATP6) PPV6 (ATP6) PPV7 (ATP6) PPV8 (ATP6) PPV9 (ATP6) PPV10 (ATP6) PPV11 (ATP6) PPV12 (ATP6) PPV13 (ATP6) PPV14 (ATP6) PPV15 (ATP6) PPV16 (ATP6) PPV17 (ATP6) PPV18 (ATP6) PPV19 (ATP6) PPV20 (ATP6) PPV21 (ATP6) PPV22 (ATP6) PPV23 (ATP6) PPV24 (ATP6) PPV25 (ATP6) PPV26 (ATP6) PPV27 (ATP6) PPV28 (ATP6) PPV29 (ATP6) PPV30 (ATP6) PPV31 (ATP6) PPV32 (ATP6) PPV33 (ATP6) PPV34 (ATP6) PPV35 (ATP6) PPV36 (ATP6) PPV37 (ATP6) PPV38 (ATP6) PPV39 (ATP6) PPV40 (ATP6) PPV41 (ATP6) PPV42 (ATP6) PPV43 (ATP6) PPV44 (ATP6) PPV45 (ATP6) PPV46 (ATP6) PPV47 (ATP6) PPV48 (ATP6) PPV49 (ATP6) PPV50 (ATP6) PPV51 (ATP6) PPV52 (ATP6) PPV53 (ATP6) PPV54 (ATP6) PPV55 (ATP6) PPV56 (ATP6) PPV57 (ATP6) PPV58 (ATP6) PPV59 (ATP6) PPV60 (ATP6) PPV61 (ATP6) PPV62 (ATP6) PPV63 (ATP6) PPV64 (ATP6) PPV65 (ATP6) PPV66 (ATP6) PPV67 (ATP6) PPV68 (ATP6) PPV69 (ATP6) PPV70 (ATP6) PPV71 (ATP6) PPV72 (ATP6) PPV73 (ATP6) PPV74 (ATP6) PPV75 (ATP6) PPV76 (ATP6) PPV77 (ATP6) PPV78 (ATP6) PPV79 (ATP6) PPV80 (ATP6) PPV81 (ATP6) PPV82 (ATP6) PPV83 (ATP6) PPV84 (ATP6) PPV85 (ATP6) PPV86 (ATP6) PPV87 (ATP6) PPV88 (ATP6) PPV89 (ATP6) PPV90 (ATP6) PPV91 (ATP6) PPV92 (ATP6) PPV93 (ATP6) PPV94 (ATP6) PPV95 (ATP6) PPV96 (ATP6) PPV97 (ATP6) PPV98 (ATP6) PPV99 (ATP6) PPV100 (ATP6)
References	PMID: 10517980 Bourgeois JC, Yang S, Wang J, Dong Y, Walkiewicz M, Luchak JM, Chen LC, Schmitt HS, Hsu Z, Brana R, Hunter JV, Graham RM, Wong LC, Riegler P Mitochondrial atrophy, lactic acidosis, and sideroblastic anemia (MLAS) plus associated with a novel de novo mutation (p.R949G) in the mitochondrial encoded ATP6 gene. J Biol Chem. 2014;289(12):8207-12. (2014) DOI:10.1074/jbc.M113.055004
Sequence	aa:458
LinkDB	All DBs

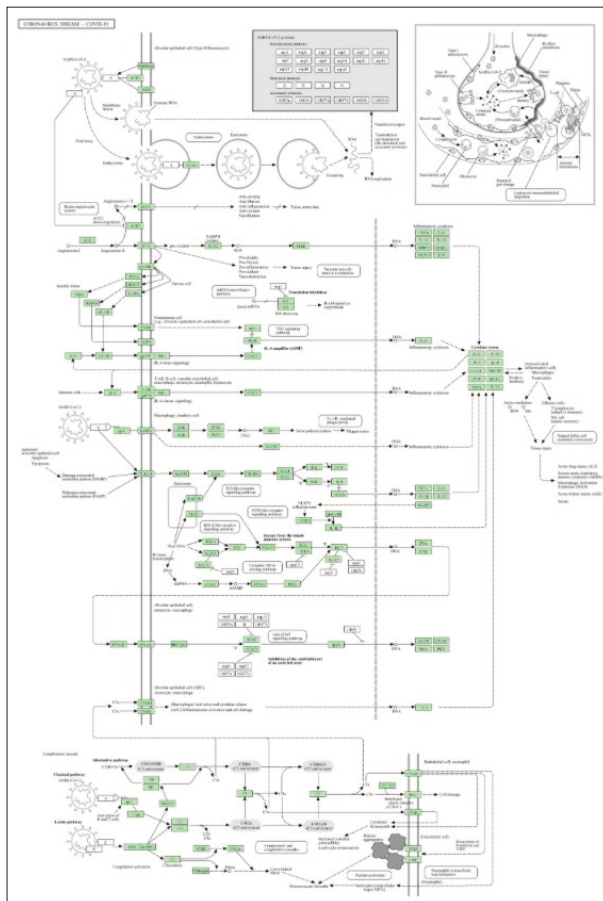
メディカル情報への展開

10

2003年に京大の薬学研究科と21世紀COEプログラムを開始しました。これがKEGGの次のターニングポイントとなります。化学研究所と薬学研究科のプロジェクトでしたので、薬をはじめとする化合物のデータベース化が飛躍的に進むことになりました。薬のデータを手始めに、生体外に由来し、生物に影響を与える物質を化合物データに積極的に加えました。薬は生体内のパスウェイにはたらきかける分子なので、体内から外に開かれた環境との関わりを表すネットワークに拡張するきっかけとなったのです。植物や細菌の二次代謝産物なども対象となり、生物共通のパスウェイから化合物の多様性へとパスウェイが広がりました。

薬のデータを追加することで、薬の作用機序の理解や創薬につながるヘルスデータのリソースとなることが期待できました。薬のデータは膨大ですが、日本の医薬品なら日本医薬情報センター（JAPIC）で管理されています。薬学研究科とのつながりを活かして、JAPICの出版物をデータベース化し、薬の添付文書

KEGG MEDICUSのデータ例。左図は、DISEASEデータベースから、疾患パスウェイ(コロナウイルス感染症-COVID-19)。右図は、DRUGデータベースから、ファイザーのCOVID-19ワクチンのデータ。社会での活用を視野に入れている。



DRUG: トジナメラン	
エントリ	D11971 Drug
一般名	トジナメラン (ZAM); コロナウイルス感染/リソRNAワクチン (SARS-CoV-2); トジナメラン (ZAM)・リソトジナメラン (ZAM); トジナメラン (ZAM)・ファムトジナメラン (ZAM); トジナメラン (ZAM)・ラクトジナメラン (ZAM); Tosilameres (ZAM); COVID-19 mRNA vaccine (nucleoside-modified); Tosilameres and Tositolameres; Tosilameres and Tositolameres; Tosilameres and Tositolameres
商品名	コミナティ (ファイザー); コミナティ (ファイザー); コミナティ (ファイザー); コミナティ (ファイザー)
承認の国	COMINATY (Pfizer Laboratories Division)
その他	PFIZER-BIONTECH COVID-19 VACCINE (Pfizer Manufacturing Belgium NV)
クラス	抗ウイルス薬 D003172 COVID-19 ワクチン
コード	薬効分類: 6313 ATCコード: J07B01 商品名: D11971<ZP/US>
疾患	新型コロナウイルス感染症 (SARS-CoV-2) SARS-CoV-2による感染症の予防 [D0102198]
コメント	トジナメランはSARS-CoV-2のスパイクタンパク質結合部位(Lys986Pro, Val987Pro)を阻害するmRNA リソトジナメランはSARS-CoV-2の1.1.529系統(オミクロン株)のスパイクタンパク質結合部位(K983P, V984P)を阻害するmRNA ファムトジナメランはSARS-CoV-2の1.1.529系統(オミクロン株)のスパイクタンパク質結合部位(K983P, V984P)を阻害するmRNA ラクトジナメランはSARS-CoV-2の1.1.529系統(オミクロン株)のスパイクタンパク質結合部位(K983P, V984P)を阻害するmRNA
ターゲット	SARS-CoV-2 spike glycoprotein [K0824102]
パスウェイ	h003230 ウイルス増殖の過程 h003242 遺伝子 - コリナウイルス h003171 コロナウイルス感染症 - COVID-19
ネットワーク	h003171 SARS coronavirus 2 (SARS-CoV-2)
相互作用	DDI search
薬理分類	医薬品分類の薬効分類 [R01j00301] 6 感染症に対する医薬品 63 生物学的製剤 631 ワクチン類 6313 ワイルスワクチン類 D11971 トジナメラン (ZAM); トジナメラン (ZAM)・リソトジナメラン (ZAM) J 全身用抗感染薬 J07 ワクチン J07B ウイルスワクチン J07B01 Covid-19 ワクチン J07B01 Covid-19, mRNA ワクチン D11971 トジナメラン (ZAM) <ZP/US> 医薬品分類のATC分類 [R01j00302] 抗ウイルス薬 COVID-19 COVID-19 ワクチン (mRNA) D11971 トジナメラン (ZAM) 医薬品グループ [R01j00303] 抗ウイルス薬 D003172 COVID-19 ワクチン D11971 トジナメラン 日本の製薬 [j008318.html] 新薬製造の権利関係 D11971 日本 - 米国 - 欧州の製薬 [j008318.html] 日本製での承認状況 D11971 BRITE hierarchy
リンク	CAS: 2417899-77-3 PubChem: 47620364
LinkDB	AD DB

を全て見られるようにしました。その後、欧米の薬も含め国際的なデータベースに成長しました。KEGG DRUGのデータは、化合物データベースの一部として構造を登録し、化合物データと同じように検索ができます。また、薬物には天然物から発見され、医薬品化に際して構造を変えたものがありますので、その歴史的な変遷のパスウェイも作成しました。ゲノム創薬の発展に寄与するリソースをイメージしてのことですが、一方で、一般ユーザを想定して、お薬手帳も作ってみました。昨今、薬の問題としてはポリファーマシーなどの、多剤投与による問題があります。データベースには医薬品が作用するタンパク質や薬物間の相互作用などの情報もあるので、体内での機能や副作用を調べることができます。KEGGの利用は、アカデミアでは海外が圧倒的に多いのですが、薬については日本のユーザを意識して、日本語での提供を進める機会にもなりました。

薬の情報の充実とともに、KEGG DISEASEとして病気の情報を充実させました。ヒトゲノム解析の成果で疾患機序や病因遺伝子の解明が進んできたことが背景にあります。ゲノム情報を社会に役立てることを考え、KEGG MEDICUSとして病気と薬のデータに力を注いでいます。病気については、国際疾病分類の疾患を治療薬情報とともにデータベース化し、さらに病因となる遺伝子の作用がわかった疾患はパスウェイを描いています。ヒトゲノムでは、従来の単一遺伝子を原因とする遺伝疾患から、病気に関わる一塩基多型のデータが多数解析され、生活習慣病などに関わる多因子疾患の原因となる変異も探索されています。そこで、パスウェイに影響を与える変異のデータは、KEGG NETWORKというデータベースに表現しました。それを参照すると疾患のパスウェイのどの遺伝子が増えているかがわかるのです。疾患とは遺伝子の変化や外部からの病原因子、薬物や攪乱物質が体に影響を与えることで起こる揺らぎだと考えています。ヒトについては免疫系や内分泌系など器官レベルの高次機能の分子パスウェイもありますので、疾患を正常なパスウェイの揺らぎとして表現できることが理想です。KEGG MEDICUSは、トランスレーショナルバイオインフォマティクス、情報の科学的根拠を提供することで社会におけるデータベースの有効利用を視野に入れています。

11

持続可能なゲノム理解を 目指して

KEGG開発の始まりはゲノムの研究プロジェクトでしたが、研究目的によるデータベース開発の問題点は、データベースが完成し研究としての新規性がなくなると研究予算の獲得が難しくなることです。そこでKEGGは、自立して持続可能なシステムを作りました。始まりは、著作権の問題です。KEGGは公共データベースではありません。自作の情報であるパスイのデータが私たち金久研究室の独自の著作物であることは明確ですし、データを編纂する手法も我々の創意工夫によるものです。2000年頃に権利の所在も含めて、大学や関西TLOなどや、その当時の文部省にも相談に行きましたが、データベースの著作権は、特許のようにルールが決まっておらず、結論がでませんでした。最終的には、大学の担当者の勧めで会社をつくることに決め、パスイソリューションズ社を設立しました。WEBからのアクセスや学術研究に対しては無料で提供し、営利的の利用にはライセンス料を課金するしくみにしたのです。研究費で作ったものをつかって会社で儲けているという非難を受けたこともありますが、KEGGの利用者のための利便性を維持し、データベースを更新し続け、さらに時代の要請に合わせてシステムを向上するためにライセンス料を使っているのです。研究費に頼らなくても、変わらずKEGGを使ってもらえるのはこのシステムのおかげです。データベースを常に更新しながら安定して提供するためには、多くの経費と労力がかかります。世の多くのデータベースが、公的な研究資金が停止するとデータ更新が止まり、システムも古くなりやがて廃れるのはそのためです。大きな損失だと思いませんか。大切な情報リソースを活かし続けるためには、こういった工夫が必要なことは是非わかってもらいたいのです。



開発者として、利用者として

12

2012年に大学を退職してからは、特任教授として引き続きKEGGの開発を続けています。幸いこれまでKEGGの知識情報を集約してきたメンバーが続けて働いてくれています。研究室を引き継いでいただいた緒方博之教授は、KEGGの初期の開発の頃の学生でしたが、フランスで独立した後、ウイルスに注目した環境ゲノムの研究をしています。そこでウイルスのゲノムデータを強化することにしました。疾患との関連でヒトに感染するウイルスから始めましたが、今はウイルス全体を対象にしています。ウイルスの遺伝子は未知のものが多く、他のデータベースでもあまりアノテーションされていません。配列が変化しやすいため、KOのグループの定義に苦労しました。そこで、遺伝子の並びに注目してみたのです。そうすると配列の類似性は低いけれど、並び順が同じだからオーソログと判断できることがわかってきました。それで、遺伝子の並び順がアノテーションに役にたつのではないかと考え、KEGG Syntaxというツールの開発を手掛けました。実はこれは、アメリカ時代に作ったゴード・カネヒサルゴリズムを使って、私自身がかつてFortranで書いたプログラムをC言語で書き直して使っています。他に頼む人がいないので自分で始めたのですが、自分で試しながらつくるので効率がいいのです。実は、オーソログのアノテーションツールであるKOALAも最近自分で全部書き換えました。これはちょっと自慢してもいいと思っています。私は、KEGGの一番のユーザーなのです。使いたいと思うからこそ、改善点が見えて、もっと便利に、もっと良いデータにと欲が出てきます。これまでもずっとそうだったのですが、使う人が作っているというのが一番の強みです。それがKEGGをここまで続けていられる理由だと思います。

スーパーコンピュータラボラトリーから
バイオインフォマティクスセンターへ。
KEGGはここから羽ばたいた。



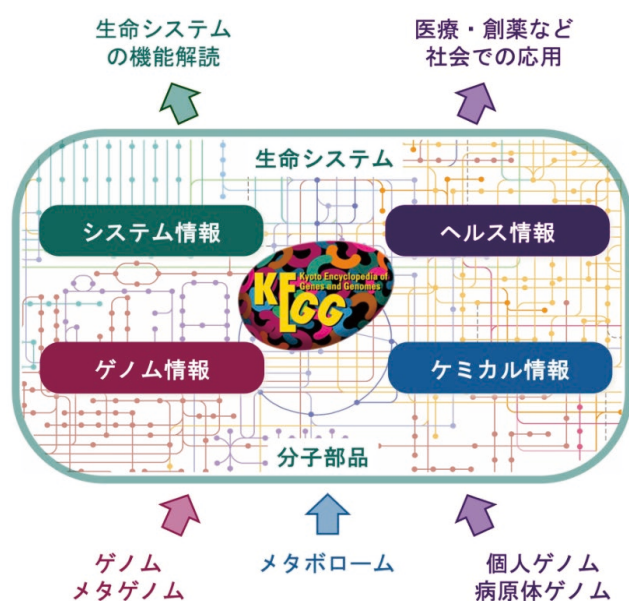
人の知により生命情報の基盤を築く

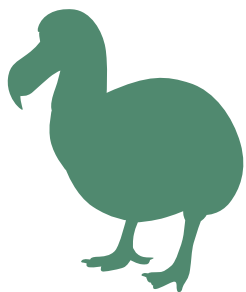
DNAの解析が簡単にできるようになったので、ゲノムデータ自体は恐ろしく増えています。しかし、基本的にわかっていることがどのくらい増えているのかという疑問です。今はオミックスといって全体から見る方法が主流なので、個々の遺伝子を調べ

ていないゲノムデータも増えています。実際に機能がわかっていない遺伝子も未だに少なくありません。これまでKEGGは6千万を超える遺伝子データを登録して、機能を決めたKOは2万7千以上になっています。さらに、実験で機能が明らかにされた遺伝子のデータはゲノムが未解析でもKOに追加して、レファレンスとしての完成度を上げています。ゲノムが増えるほど生物界でどの反応がどれだけ使われているか、植物や菌類、ある種の細菌などがどう特殊化しているかが見えてきます。やや大袈裟ではありますが、これだけのデータが蓄積すると実際の生態系を反映するモデルと言えるのではないかと考えています。この部分の反応は、海で、大気で、地中でと生物の生息環境と役割を当てはめることで、ゲノムから地球全体としての生物の役割が見えてくるのではないのでしょうか。

KEGGはデータベースですが、実験が生み出す大量のゲノムデータを解釈するためのツールです。多くの研究者がゲノムデータの解析に使っていて、文献の引用数は年間1万を超え、増加の傾向にあります。昨今は皆、データベースはデータが多ければ多いほどいいというイメージで、大量データから人工知能や機械学習モデルでデータを生み出す将来像が描かれていると思いますが、質のよいデータをつくり維持するためには、人間が介在し選別する知恵が必要です。私には質の高い文献から人間の知性で構築した知識でここまでやってきた確信があります。KEGGは生命システムをコンピュータ上にモデル化したデータベースとして、分子レベルの大量データであるゲノムを用い、細胞から生物種にいたる機能を表し、創薬・医薬などの社会での有用性を生み出してきました。ゲノムから生命を解釈する普遍的なツールとして、地球上の生命のモデルとなる知識ベースとして、生命誕生から進化、地球生態系など高度な生命の理解までを可能にするデータベースであると考えています。

KEGGシステムの概要(2025年現在)。
現在は16のデータベースを統合して、
生命システムのモデルを表している。





PAPER CRAFT

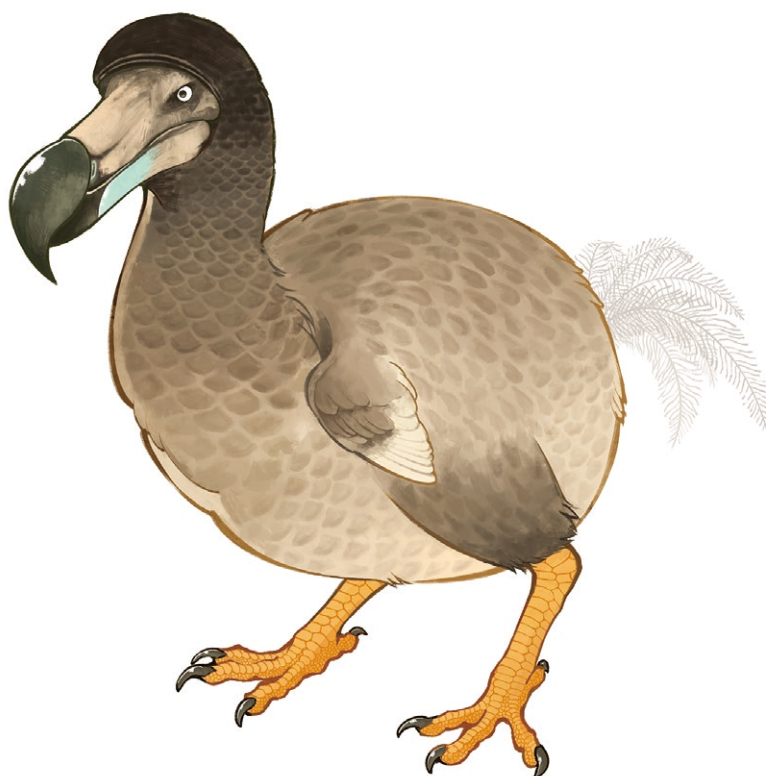
絶やすのはたやすい 消えた動物



生命誕生からおよそ40億年、この地球にいるすべての生きものは共通祖先から同じだけの時間を経てここにいます。人間もまたその生きものの一つです。ところが人間の活動は、多くの生きものの暮らしに影響を与え、中には種を絶やすほどの行いもありました。絶滅というと「恐竜の絶滅」のようにはるか過去の事件のように聞こえますが、実は今まさに絶滅しつつある生きものがいます。私たちが気づかない間に消えてしまった生きものも数多くいるはずです。紙工作「絶やすのはたやすい消えた動物」では、人間の些細な都合で絶滅してしまった生きものをつくります。いなくなってしまう生きものは取りもどせません。今、私たち人間も生きものとして自然のなかに生きるとはどういうことか、改めて考える時です。

1. ドードー

ドードーは、17世紀に絶滅した、インド洋の南にあるモーリシャス島に生息した飛ばない鳥です。モーリシャス島は、マダガスカル島から東に約900キロ、16世紀始めにポルトガル人が地図に記し、その後1598年にオランダ人が立ち寄り、1638年に植民地として開拓するまで無人島でした。ドードーについては、オランダ人船員による「白鳥ほどの大きさで、大きな頭に帽子のような羽が被さり、翼はなく3、4本の羽と4、5本の巻羽でできた尾があった」という当時の記録があります。



オランダ人入植者は、エボニーの木材輸出やサトウキビのプランテーションのために森林を伐採しました。しかし、夏にはサイクロンが襲う自然の厳しい環境で開発は進まず、狩猟採集に頼り、島の無防備な生きものたちは、狩られ追いやられ、棲家も餌も奪われました。犬や猫、ヤギやブタなどの家畜やサルやネズミなどの外来動物が持ち込まれて、生態系が大きく変えられました。ドードーは、肉は不味いとされ、当時の廃棄場からは食用であった証拠は見つかっておらず、環境の変化や外来動物との競争に敗れて数を減らしたようです。ドードーの消息は、わずかに移住者の日記に残される記録に残り、最後に見かけたのは1681年。その後の推定では1690年頃まで生存したとされますが、いずれにせよ、最後の記録以降、人の目に触れることなく、ドードーは姿を消したのです。

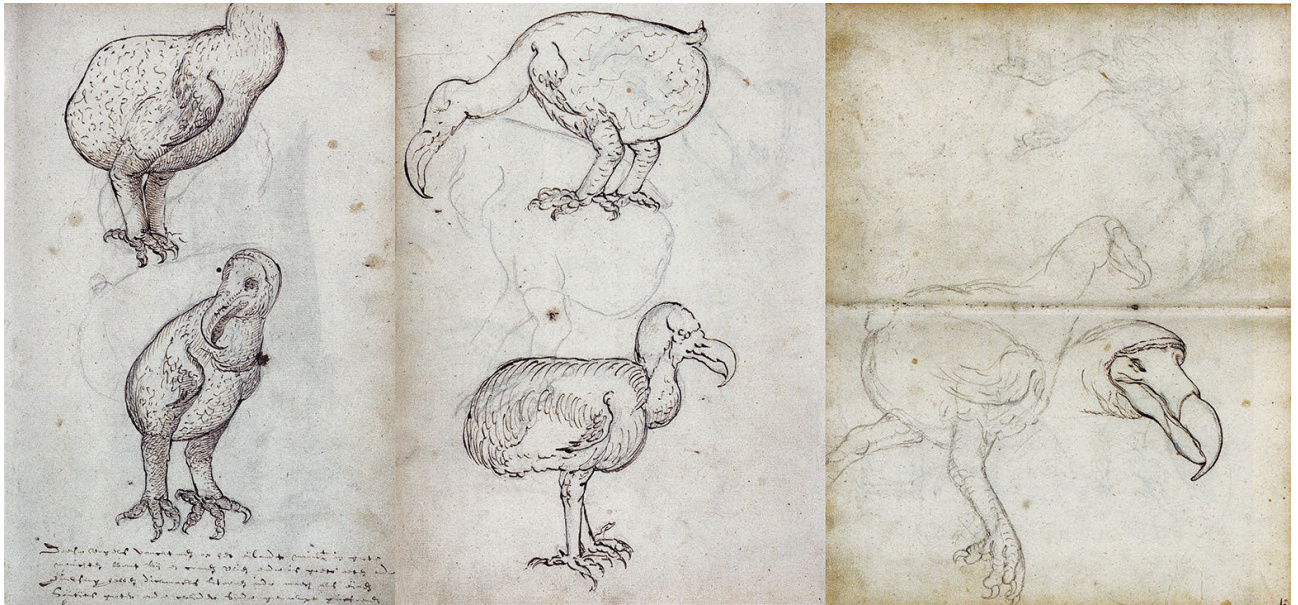


(図1) ドードーが生息したモーリシャス島

マスカリン諸島にあり、隣にはソリティアが生息したロドリゲス島がある。

2. 幻の鳥

ドードーは、モーリシャス島の固有種であり、その島で見られたのも100年足らずです。ドードーの姿形を知る手掛かりは、船員や入植者によるわずかな記録と絵画に限られます。島の様子を描いた版画には、ドードーらしき鳥が描かれていますが、実際に見たのか、伝聞による創作かは定かではありません。生物を記載し分類する科学が生まれる以前の出来事で、名前も絵の区別も曖昧です。生きた姿でヨーロッパに到着した証拠はほぼなく、島から持ち出され航海中に死んで残された体や骨が手掛かりだったかもしれません。



(図2) 1600年頃、モーリシャス島で描かれたとされる日記のスケッチ
オランダの船員で画家であったジョリス・ラーレの作とされる。

ヨーロッパでは、特徴的な大きなくちばしや太い足、人を恐れず容易く狩られるという性質を見聞きし、太った滑稽な姿が創作されていったのです。オランダの画家、サヴェリーが1626年に描いたドードーはその典型とされます。生物学的には、1758年に分類学の父リンネが種として記載しましたが、オランダ人の報告を頼りにしたものです。ドードーの目撃記録はとだえて久しく、同じ頃、モーリシャス島に近いロドリゲス島で発見された、やはり飛ばない大型の鳥ソリティアとともに、神話上の鳥として空想される対象になっていました。



(図3) サヴェリーのドードー
動きの鈍い太った鳥のイメージを作ったとされる。

3. ドードーの再発見

19世紀のイギリスでは、ダーウィンの「ビーグル号の冒険」やオーウェンによる「恐竜」の命名など、一般の人々の間に科学への関心が高まります。地質学者であり動物の命名規則の策定にも貢献したストリックランドは、知りうる情報を駆使してドードーを探求しました。解剖学者のメルヴィルとともに、オックスフォード大学に残された頭部や足の標本を精査し、ドードーはハトの仲間に分類され、ソリティアがその近縁種であることを証明しました。ドードーの絶滅は人の影響であり、失われゆく生きものの知識や遺物を残すべきと提言しています。1851年にロンドンで開催された世界最初の万国博覧会では実物大のドードーの模型が展示されたとあります。ドードーのキャラクター化を決定づけたのは、ルイス・キャロルの「不思議の国のアリス」です。1866年に出版されたジョン・テニエルの挿絵はドードーを一躍有名にしました。



(図4)「不思議の国のアリス」に登場する
ドードー(ジョン・テニエル画)

ルイス・キャロルの本名はチャールズ・ド
ジソンといい、ドードードジソンと自らと重
ねていたと言われる。

同じ頃、モーリシャス島でドードーの骨が発見されます。オーウェンが手に入れ、複数個体から全身の骨格を初めて組み上げました。太った動きの鈍い鳥という先入観が反映された復元で、食料の豊富な競争相手のいない島で脳も羽も衰えたと説明したそうです。その3年後には、自然な姿勢に修正したそうですが、イメージを払拭することはできませんでした。“Dead as Dodo”という慣用句も生まれ、絶滅の象徴となったのです。

4. ドードーの修正

ドードーの姿に関する新しい知見は、1955年にエルミタージュ美術館で発見されました。17世紀のムガル帝国の絵画に、その当時の皇帝に贈られた生きたドードーが描かれていたのです。ムガル絵画と呼ばれる細密画が発展し、動植物が描かれた時代で、ヨーロッパでの偏見の影響がない、信頼性が高い絵画とされています。

モーリシャスでは発掘が進み、ドードーが暮らしていた環境の再現が試みられています。ドードーが暮らしたのは、木の実や果物が手に入り易い海岸から広がる森林帯でした。そこは同時に、上陸した人間が最初に焼き払うなど容易に手をつけられる場所でもあったようです。骨組織の詳細な分析によりドードーの生活史が明らかになり、サイクロンが発生する厳しい夏の季節をさけて繁殖していたこともわかりました。夏の終わりの3月頃から換羽期に入り、8月に羽が生えそうとつがって繁殖し、一度に一つの卵を産み、ヒナは冬の間十分に餌を食べ、夏が訪れる10月までに成長したということです。足の構造からは、機敏に山谷を駆け回ることができたとわかりました。優れた嗅覚をもち、食べ物の果物や木の実が手に入りにくい夏には、鋭いクチバシでカニや貝などを漁ったとも考えられています。



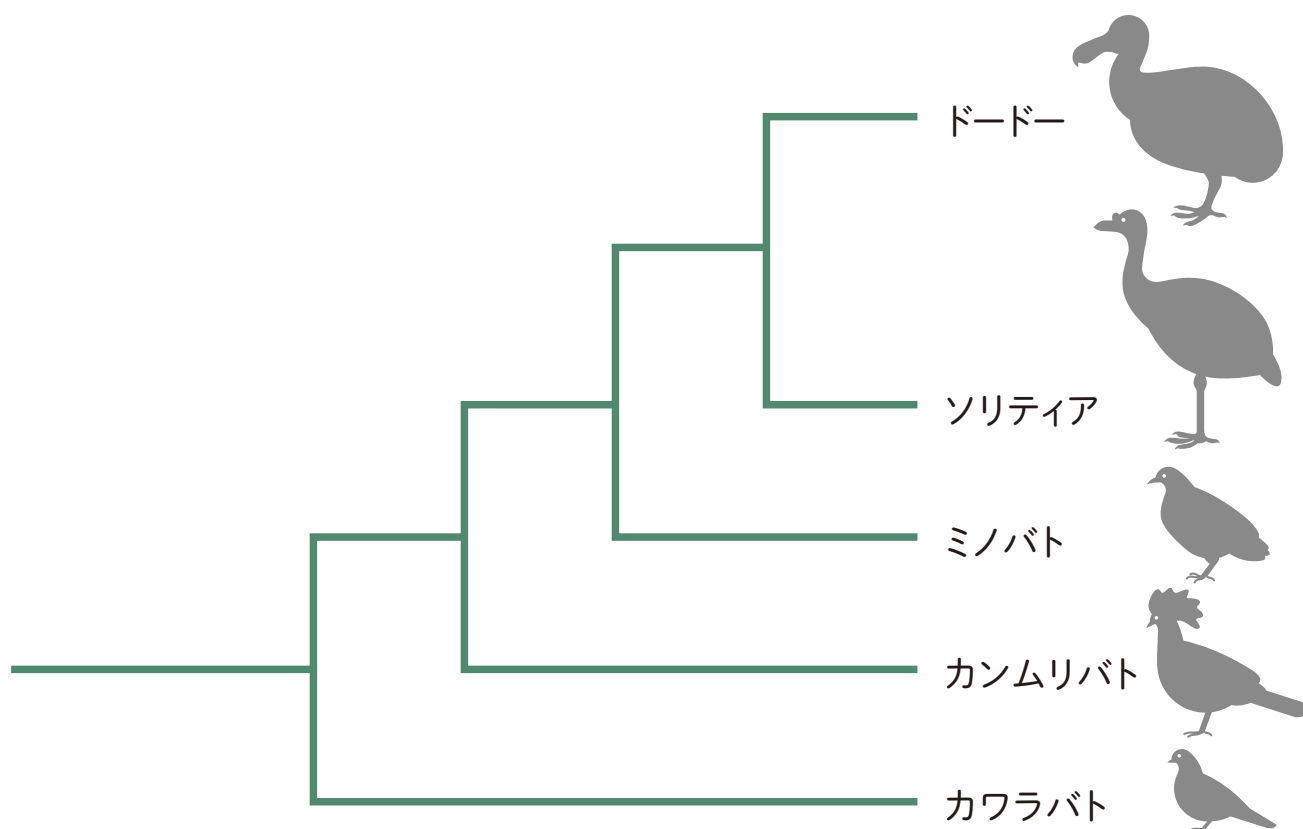
(図5) 1628年から33年にかけて描かれたドードー(ウスタッド・マンスール画)

ムガル皇帝ジャハングールに贈られ、当時イギリスの旅行者ピーター・マンディも生きたドードーを見た記録している。

5. ドードーの進化

標本から抽出したDNAの比較によってドードーは形態から予測された通りハトの仲間であることが確認されました。ドードーとソリティアが最も近縁であり、現生種のなかでは、やはりインド洋に浮かぶニコバル諸島などにいるミノバトに近いことがわかりました。ミノバトと分岐したのはおよそ1800万年前、ドードーとソリティアが分岐したのは、1300万年前と推定されました。火山島であるモーリシャス島が誕生したのは800万年前、ロドリゲス島は150万年前と推定されており、ドードーとソ

ティアはそれ以前にそれぞれ別な島に飛来し、その後誕生した島に定着したことになります。数百万年かけて、島の環境に適応し、それぞれ飛ばない巨体のハトとなりました。約4千年前には動物の大量死が起きた厳しい干ばつがあり、雨季と乾季を繰り返す激しい気候でしたが、ドーダーは生き延び、後に人間さえ放棄した過酷な自然に適応していたのです。



(図6) ドーダーとハトの仲間の関係

インド洋で多様化したハトの仲間で、ドーダーとソリティアは島の環境に適応したと考えられる。

6. 人類による絶滅

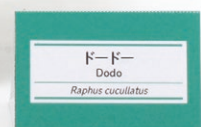
19世紀にドーダーが一般の人々の関心を集めたのは、神が生きものを創造したと考えられていた時代に、神の領域である絶滅に人類が手を染めた驚きだったそうです。同時にダーウィンの進化論が知られ、弱者は滅びるという考えが受け入れられたとも言われます。ドーダーの絶滅について大切なことは、直接手を下さなくても、環境破壊や外来生物の持ち込みが、長い時間をかけて島に適応してきた種をほぼ一瞬にして滅ぼしたという事実です。現在も世界中で人間の都合で土地を開墾し、生物を移動している状況があります。その中で、人知れず消えていっている生きものの数は計り知れません。目先の利益や生活のために身近な自然に手を加える行為でも、失われた種は戻ってはこないのです。ドーダーの警告を胸に刻まなくてはなりません。

参考文献

- Rijsdijk, Kenneth F., et al. A review of the dodo and its ecosystem: insights from a vertebrate concentration Lagerstätte in Mauritius. *J. Vertebr. Paleontol.* 2015 35.sup1:3-20
- Shapiro, Beth, et al. Flight of the dodo. *Science* 2002 295.5560:1683-1683
- Soares, André ER, et al. Complete mitochondrial genomes of living and extinct pigeons revise the timing of the columbiform radiation. *BMC Evol. Biol.* 2016 16:1-9.
- Angst, Delphine, et al. Bone histology sheds new light on the ecology of the dodo (*Raphus cucullatus*, Aves, Columbiformes). *Sci. Rep.* 2017 7.1:7993



ドードー
ダウンロードはこちら
PAPER CRAFT DOWNLOAD

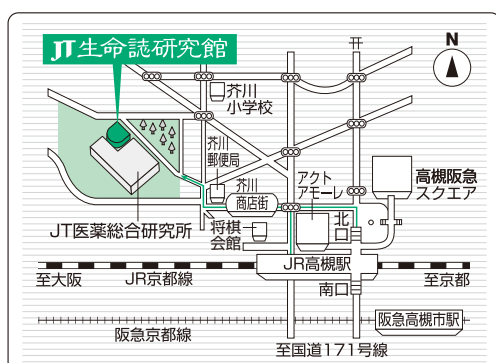
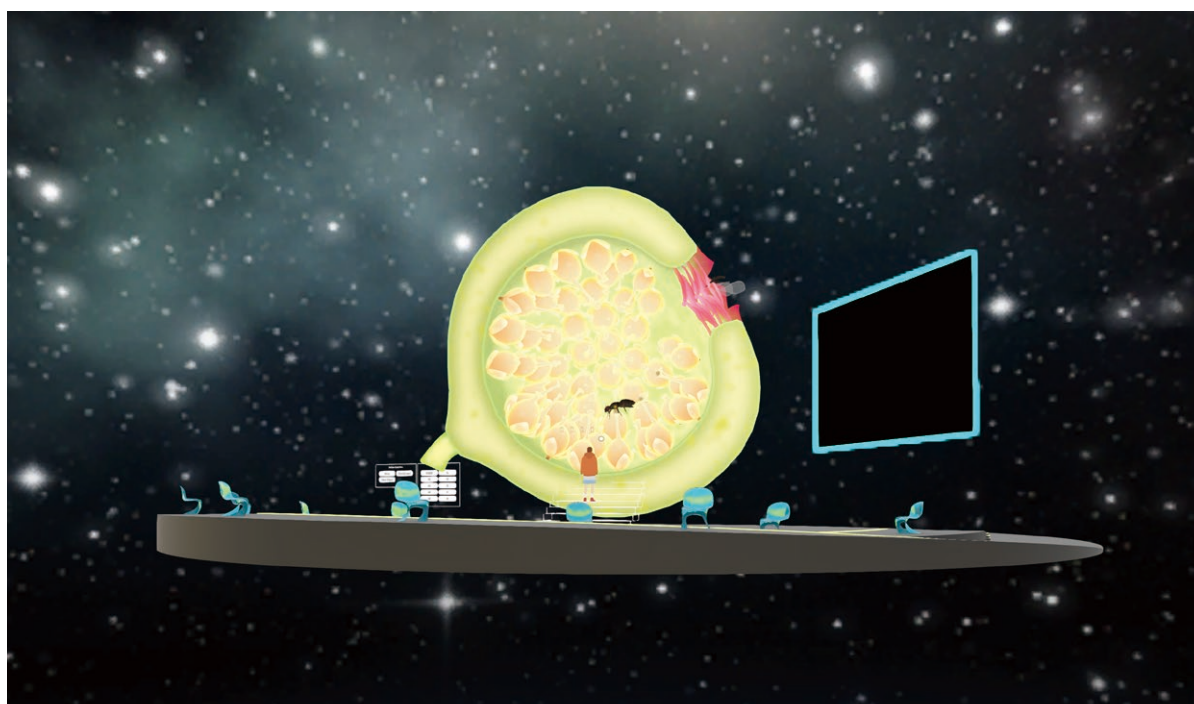




WORKS

見えない小さな世界を メタバースで体験！

研究館では、イチジクとイチジクコバチの共生関係を20年にわたって研究してきました。その知見を生かし、小さなイチジクの内部で繰り広げられるイチジクとコバチの共生を、仮想空間に表現しました。イチジクコバチの産卵から次世代が巣立っていくまでの営みを、8つのシーンに分けた迫力ある3D動画でご覧いただけます。メタバース空間で行った高校での授業のダイジェスト映像も公開しています。館内のビデオブースでご覧ください。



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)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。