NICT NEWS

国立研究開発法人
情報通信研究機構

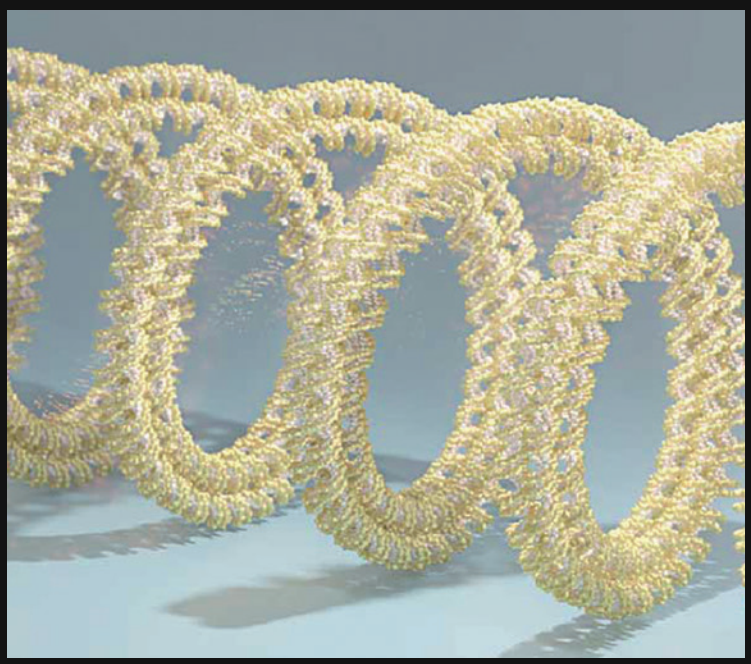
No.3
2024
通巻 505

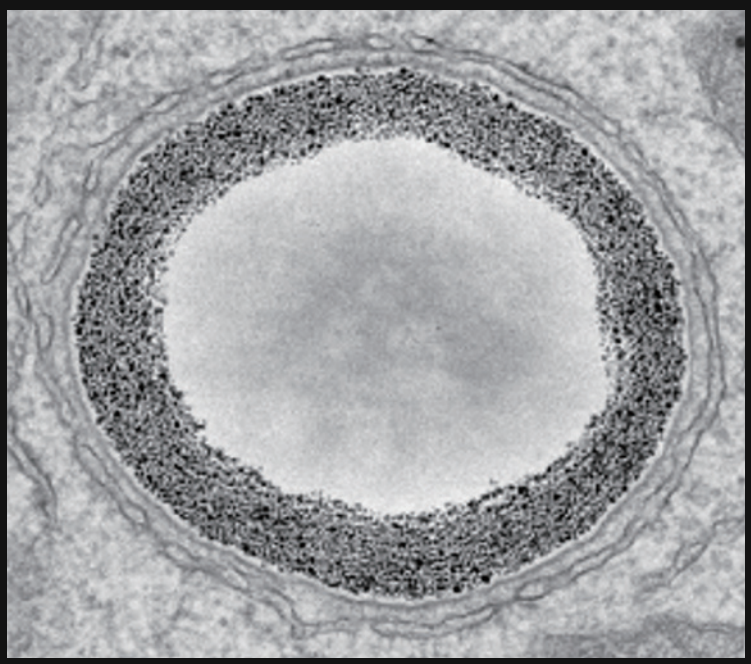
20th Anniversary
NICT創立20周年

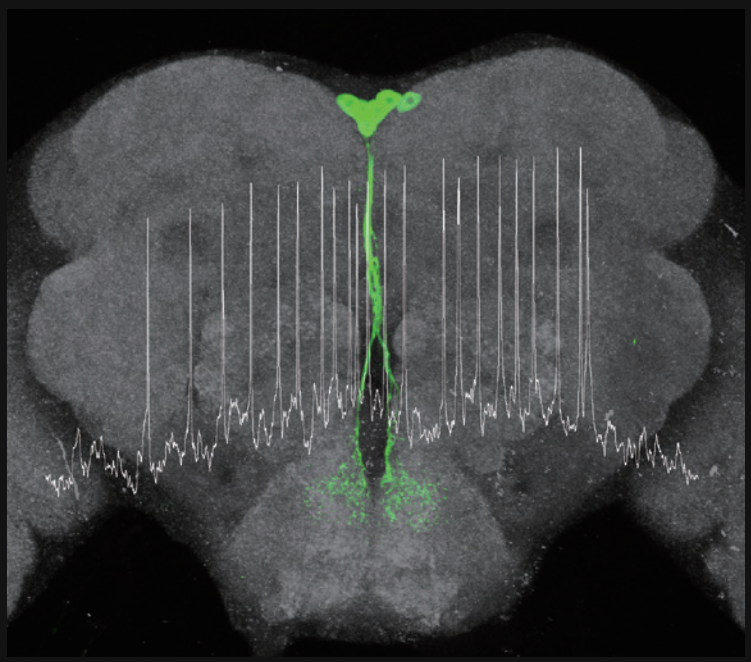
FEATURE

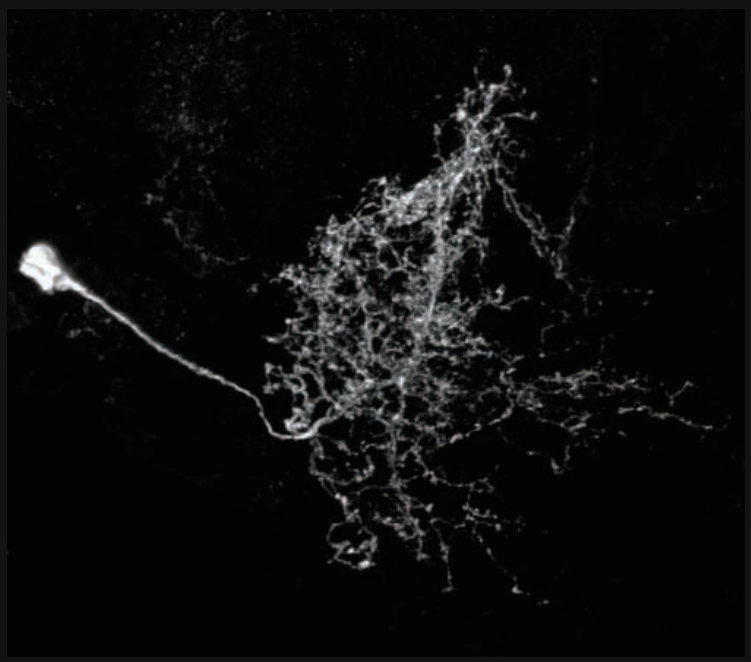
未来に馳せるバイオからの挑戦

座談会 生物で切り開く情報通信のフロンティア









CONTENTS

NICT NEWS 2024 No.3 通巻505
国立研究開発法人情報通信研究機構

FEATURE

未来に馳せる バイオからの挑戦

座談会

1 **生物で切り開く情報通信のフロンティア**
田中 秀吉／小林 昇平／古田 健也
松田 厚志／古波津 創／櫻井 晃

4 **生体-非生体ハイブリッド素子を用いた分子通信制御技術の研究開発**
小林 昇平

6 **力学で生物ゆらぎの情報処理を理解して操作する**
超省エネコンピュータや聴覚・触覚の生体内ICT開発を目指して
岩城 光宏

8 **記憶が、見えた。**
吉原 基二郎

10 **小さな脳の仕組みに学ぶ**
昆虫脳の動作にならった効率的ICTの研究開発
古波津 創

TOPICS

12 **NICTのチャレンジャー File 29** 古田 茜
生体システムをヒントにした超省エネなエネルギー変換装置の開発を目指して

13 **ダイバーシティ推進室初のイベント「NICT Diversity Day 2024」を開催**
ダイバーシティ推進室

INFORMATION

14 **NICTオープンハウス2024 開催のお知らせ**
14 **ワイヤレス・テクノロジー・パーク（WTP）2024 出展のお知らせ**

表紙写真

左上：DNAで設計した世界最小のコイル状バネ
DNAを材料にしたナノサイズのバネで、生体材料や無機材料と連結し周囲の硬さや機械的な力を超高感度に計測できる。

右上：細胞内に導入した人工ビーズの電子顕微鏡観察像
細胞内に導入した球状のビーズ（最外層が黒色）の外側を覆うように特殊な膜構造の形成が見られる。

左下：命を支えるインスリンニューロン
代謝制御の要であると同時に、生殖や温度適応など複雑な行動のありようを決定づける。その多機能性に学ぶ。

右下：ショウジョウバエ脳の食べる司令ニューロン、"フィーディング・ニューロン"
記憶プロジェクトでは、フィーディング・ニューロン上に形成される記憶を直接観察し、人類が初めて見る記憶の現場でその根本原理に迫る。

FEATURE 未来に馳せるバイオからの挑戦
Biology Inspired ICT: A Bridge to the Future

座談会

生物で切り開く情報通信のフロンティア

田中 秀吉
神戸フロンティア研究センターを率いる
神戸フロンティア研究センター 研究センター長

小林 昇平
細胞情報インターフェース技術を創る
バイオ ICT 研究室 室長

古田 健也
生物システムを作って理解する
バイオ ICT 研究室 研究マネージャー（生体物性プロジェクト）

松田 厚志
生体空間をナノメートルで可視化
バイオ ICT 研究室 研究マネージャー（生物情報プロジェクト）

古波津 創
昆虫脳の動作原理を探る
神経網 ICT 研究室 研究マネージャー（行動神経生物学プロジェクト）

櫻井 晃
神経細胞の学習システムを理解する
神経網 ICT 研究室 主任研究員（記憶神経生物学プロジェクト）

情報通信技術は電波による無線通信から始まり、光を利用したデジタル通信へと進み、大量の情報をネットワークで交換することにより、現在の豊かな情報化社会が成り立っている。しかし課題もある。この先情報量が更に増え続け、それに応じて投入する電力等のエネルギーもばく大なものになっていく。この課題はどのように解決すればいいのか。その答えの一つが生物にある。生物は小さなエネルギーで効率よく環境に適応して生きている。この生物に学ぶことが、これからのICTに必要なことではないだろうか。今回は生物の仕組みを最先端ICTに活かす研究をしている、未来ICT研究所神戸フロンティア研究センターの若手研究者に話を聞いた。

——最初に田中センター長にお聞きします。次世代の抜本的なブレークスルーにつながる先端基盤技術を研究している未来ICT研究所の中で、神戸フロンティア研究センター（神戸FRC）の位置づけとはどのようなものでしょうか。

田中　未来ICT研究所では、これまでにない革新的なICT技術の創出に向けた研究に取り組んでいます。その中でも神戸FRCで扱っている課題は基礎研究のカラーが強く、これまでにない新たな情報通信パラダイムの開拓を目指しております。例えば現在、情報通信の研究開発のメインステージがBeyond 5Gだとすると、我々が目指しているのは、それよりもっと先にあるBeyond 6G、あるいはさらにその先にある技術革新と言えるかも知れません。基礎研究ということで成果の創出には時間がかかるケースが多いのですが、サイエンスという根に基づいて研究の幹をしっかりと太くすることが重要な研究成果やその先にある社会実装という果実を大きく育てることにつながると考えています。近年特に力を入れているのは、バイオ技術に基づく新たな情報通信パラダイムの開拓であり、本日はそのあたりの

座談会 生物で切り開く情報通信のフロンティア

話題を中心にお話したいと思います。

■最先端の基礎研究

――研究者のみなさんはどのような研究をされているのでしょうか。

小林　神戸FRCには、バイオ系研究室が二つあります。一つは私が室長を務めているバイオICT研究室。もう一つは、古波津さんと櫻井さんが所属している神経網ICT研究室です。私のいるバイオICT研究室では、生物が行っている生体分子を使った情報通信について研究しています。これを人間が自由に操れるようにし、ICTとして使えないかという研究です。具体的には生物が行っている分子通信を計測及びセンシングする技術を作ること。もう一つは、生物の分子通信を人工的に改変し、細胞の情報処理と通信能力を利用して、人間が扱いやすいデバイスを作ることです。

――分子通信とはどういうものですか。

小林　身体の中ではいろいろな情報が分子を通じてやり取りされています。例えば脳で出ているホルモンは、様々な器官へと運ばれ情報を伝えています。このように分子による情報のやりとりを分子通信といいます。体内に代表されるような特殊な環境でやりとりされている分子情報を、我々人間がICTとして有効活用できるようにするには、分子通信の仕組みの解明と制御技術の開発が重要です。加えて、この仕組みによって生物は極めて低いエネルギーでシステムコントロールを行っていることから、これらをICTにフィードバックできれば非常に効率のよいシステムができあがります。

田中　このように分子を通じて情報をやり取りする分子通信という概念は2008年頃に初めて出てきた概念で、ここ10年くらいでようやく国際的にも研究が動き始めたところです。

小林　今、私たちは最小の機能単位である細胞に取り込ませた人工物を通じて細胞機能をコントロールする技術を研究しており、ようやく基盤的な実験系が立ち上がったところです。将来は体内などの分子通信が主な情報伝達手段となっているICT環境で働くマイクロロボットのようなものを実現したいと考えています。

古田　小林さんの細胞レベルの研究に対して、我々は部品のレベルから研究を進めています。部品とは細胞を構成している分子マシンのことです。例えば分子モーターがその一つです。生体内の化学エネルギーを力学的な動きや力に変換するエネルギー変換器といえるものです。特長は非常にエネルギー効率が良いこと。この仕組みを理解し効率のいいデバイスの実現につなげていきたいと考えています。

この分野は最近登場した生成AIによって研究が加速しており、タンパク質の構造を予測できるようになってきました。ただし、タンパク質が「動く」メカニズムはほとんど分かっていませんので、この点をもっと詳しく理解できればエネルギー変換機能の設計方法がわかってくると思います。

松田　生物の体内には膨大な数の分子があり、密度も非常に大きいのですが、それを生きたままリアルタイムで見られるようにしようという研究を行っています。それが実現できれば、未知の部分が多いバイオICTの抱える謎の一部が解けるのではないかと期待しています。ターゲットとなる生体分子だけを見るときは、通常蛍光顕微鏡を用いますが、生きたままの細胞を高い分解能でリアルタイムに見ることはできません。私たちはこの課題にチャレンジしています。

今開発しているのは計算補償光学という新しい技術で、多くの細胞の集まりのうち、普通ではピントが合わない奥のほうにある細胞も明瞭に見えるようにする技術です。古田さんが開発している分子モーターは100ナノメートル以下なので、それくらいは見えるようにしたいというのが当面の目標です。その先は更に解像度を上げていって、分子モーターの働きをリアルタイムで見ることができるようにしたいと考えています。

古波津　私は行動神経生物学プロジェクトで、ショウジョウバエの脳の機能を調べています。バイオミミクリー（生体模倣）の研究では、多くの場合、生物の構造や生体物質の物性が取り上げられますが、私たちは昆虫の脳の情報処理を模倣しようとしています。昆虫の脳は限られた感覚入力を少数のニューロンで処理することによって多彩な行動を生み出すことができます。例えばショウジョウバエの眼は左右合わせてたったの1,600画素しかないのですが、これを用いて飛行・歩行の制御や外敵からの逃避などを行っています。その効率的な情報処理の仕組みを取り出し、IoTセンサーの情報処理やマイクロロボットの制御などに応用することを目指して研究開発に取り組んでいます。

神戸フロンティア研究センター
超伝導ICT研究室、ナノ機能集積ICT研究室、バイオICT研究室、
神経網ICT研究室、深紫外光ICT研究室の5つの研究室を有する。

櫻井　私の研究テーマは生物の学習・記憶のメカニズムです。ショウジョウバエを実験材料に用いて、脳の神経細胞の中で、学習中に分子レベルではどんな現象が起こっているのかを調べています。その結果、特定の行動をコマンドする役割を持つ神経細胞が、元々はつながっていなかった神経細胞とのあいだに新しいつながりをつくり、記憶が形成されることを発見しました。これにより、学習・記憶の脳内実体である神経細胞同士の新しいつながりの形成過程をリアルタイム解析することが初めて可能となりました。

田中　昆虫脳の研究は非常に重要なテーマです。脳の中でシナプスレベルさらには分子レベルでどのようなことが起こっているかは、これまでよくわかっていませんでしたが、近年の実験技術の進展により、脳の中で実際に何が起こっているのか、シナプスひとつひとつのレベルでリアルタイムに局所観察できるようになってきました。我々の研究はその最先端に位置づけられます。得られた情報とハエの動態を紐づけることで脳の機能を解析しモデル化し、新しい情報処理の原理を構築しようという試みも始まっています。

AIの研究開発が急速に進展していますが、現在主流のやり方では大量のリソース消費が不可避であり、その延長線上に生物の脳と同等の機能を有するAIを再現するのは難しいと思います。生物の脳で何が起こっているのか、その根本的なところを十分に理解する必要があります。そこに生物の情報処理の仕組みを取り入れていくことによって、大きなパラダイムチェンジを起こすことができると考えています。

■研究の目標

――将来の目標は

小林　一つの細胞を使って他の細胞を操り、細胞の集団を制御する技術を作り出したいと考えています。細胞を望みどおりに動かして配置できれば、分子通信環境でいろんなことに応用できると思います。そのためには、天然の細胞をそのまま使うだけでなく、生きた細胞と人工物を組み合わせて扱う技術が有用だと考えています。

古田　視覚や聴覚など人の衰えた機能を補助するデバイスの課題は電源をどうするかです。いつも大きくて重いバッテリーを携行するわけにはいきませんし、バッテリー切れを気にするのは大きなストレスです。そこで電力を生体内部から取れるようなデバイスを実現したいと考えています。ご飯を食べれば動くとか、美味しいものを食べれば食べるほどよく動くとか（笑）。

松田　1枚の写真から奥行きを含めた高分解能の立体画像を得られるような技術を開発していきたいです。現在、高い分解能で見るために、大量の画像データから複雑な処理を行って鮮明な画像を得ていますが、これを一発でできるようにしたいです。

古波津　昆虫が小さな脳で複雑な環境を認識し、適応的な行動を生み出すメカニズムは、いまだ十分に解明されていません。その基礎にある情報処理の仕組みを応用し、ごく限られた電力で動作する自律型マイクロロボットのような、効率性に優れた情報処理システムを作り出せればと考えています。

櫻井　神経細胞における電気信号の生成と伝達の仕組みを調べ、モデル化したところから今日のAIは始まったとされています（McCulloc-Pittsモデル:1943）。一方で、生物が学習するとき、脳の神経細胞で何が起こっているのかは、いまだよくわかっていません。新しいAIを作るための鍵がそこにあるのではないかと考えています。

田中　みなさん若い研究者で、これからこの研究所を背負っていくことになります。各自、非常にユニークな発想と技術を持っています。この才能を存分に開花させていただき、生物のメカニズムを梃子（てこ）としてまったく新しいICTパラダイムの実現を目指し研究開発を進めていきたいと思います。

生体-非生体ハイブリッド素子を用いた分子通信制御技術の研究開発

小林 昇平
（こばやし しょうへい）
未来ICT研究所
神戸フロンティア研究センター
バイオICT研究室
室長

大学院博士課程修了後、2005年NICTに入所。生細胞内への物質導入とそれに伴う細胞応答の解析に関する研究開発に従事。博士（工学）。

スマートフォンなどの様々な電子機器の普及や、新型コロナウイルス感染症対策、働き方改革の推進などにより、我々の生活スタイルはここ数年で大きく変化し、社会のあらゆる場面で多種多様な情報が生み出され、利用される時代になってきています。しかし、電波や光などを用いた既存の情報通信技術（ICT）が進展すればするほど、情報量爆発やエネルギー不足などの問題も深刻さを増します。このような問題を抜本的に解決するための新たなアプローチとして、近年、生物や生体材料の特性を活かしたICTの研究開発が注目を集めています。

■背景

Beyond 5G（6G）の実現へ向けて、様々な分野において電波や光などの電磁波を用いたICTに関する研究開発が進んでいます。しかし、我々の日常生活の中には、既存のICT では直接扱いにくい情報がたくさん存在します。その一例が、化学物質に付随する情報です。例えば、空港では検疫探知犬が活躍していますが、これは既存のICTでは「匂い」の元となる化学物質に付随する情報を、その場で高感度かつ素早く検出し処理するのが困難なためです。また、水中では電磁波が減衰してしまうため、生体内で起こっている細胞間での化学物質のやり取りへの既存ICTの適用も極めて困難です。このように、化学物質に付随する情報は、とても身近で重要であるにも関わらず、それを利活用するためのICTは未確立というのが現状です。

そこでバイオICT研究室では、化学物質に付随する情報の利活用技術に根差したより豊かな社会の実現に向けて、生物が行う分子を用いた情報通信（分子通信）の仕組みに学んだICTの研究開発を進めています。研究は大きく2つのアプローチで進めています。1つ目は生体分子に付随した情報の計測・評価技術の開発に関するもの。そして2つ目は、分子や細胞などのバイオマテリアルを利用して、分子通信が行われている環境で動作するセンサやプロセッサ、アクチュエータなどを作ろうというものです。本稿では、我々の研究グループで、主に後者のアプローチで進めている、生命の最小機能単位である「細胞」を対象とした“細胞ICT研究”についての成果をご紹介します。

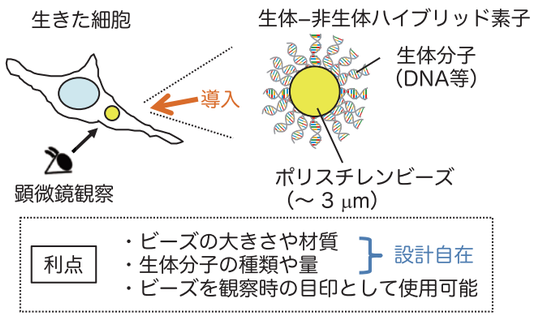


図1　生体－非生体ハイブリッド素子を用いた細胞応答計測技術の概要

■生体–非生体ハイブリッド素子を用いた細胞–人工物インターフェース研究

細胞は常に外界と情報のやり取りを行いながら生存しています。細胞が行う分子通信の仕組み、すなわち細胞にとっての言語を我々人間が理解し、有効に利用できるようにするためには、単に細胞のことを詳しく調べるだけでなく、細胞機能を人工的に操作する工学的視点での研究が不可欠です。そこで我々は、まず、様々な生体分子と人工物とを組み合わせて生体–非生体ハイブリッド素子を作製し、それを生きた培養細胞（HeLa細胞）に導入すると何が起こるかを詳細に解析しました（図1）。つまり、人工物を使って細胞の機能を操るためには、両者のインターフェースをどのように設計すれば良いのかを調べたわけです。生体–ハイブリッド素子のモデルとしては、主に、DNAやタンパク質などの生体分子を結合させたポリスチレンビーズを使っています。非分解性ビーズを観察時の目印とすることで、ビーズ表面に結合させた生体分子に対する細胞応答のみを詳細に観察できるのが、この実験系の大きな利点です。

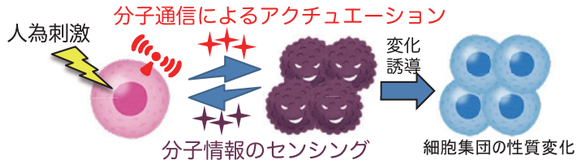


図2　分子通信制御による細胞集団の機能制御のイメージ

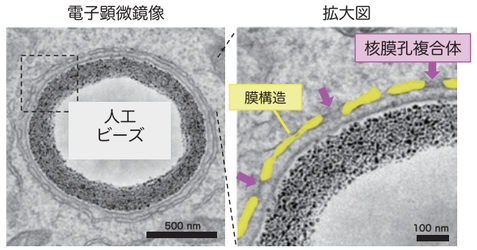


図3　生体－非生体ハイブリッド素子の周囲に形成された核膜構造
核膜孔構成因子を結合させた人工ビーズを使って細胞内に人為的に形成された核膜構造の透過型電子顕微鏡像（左）とその一部の拡大図（右）。

図4　既存ICTとInnate ICT環境を繋ぐ人工細胞型マイクロロボット

■生体–非生体ハイブリッド素子に対する細胞応答

生体分子結合ビーズを細胞内に導入すると、生体分子の種類に応じて様々な細胞応答が起こることがわかりました[1]。例えば、アビジンと呼ばれるタンパク質を結合させたポリスチレンビーズを生細胞内に導入すると、ビーズの周囲に限定してオートファジー（自食作用：細胞が持つタンパク質分解機構の一種）が誘導されます。つまり、アビジン結合ビーズが侵入してくると、細胞はそれを分解しようとするわけです。その後の研究から、このオートファジー反応は、侵入したビーズそのものではなく、侵入時に破壊された細胞膜を標的として起こることが分かっています。これは、侵入者の種類によらず対応できるという点で、非常に優れた防御機構と言えます。

一方、DNAを表面に結合させたビーズを細胞に導入すると、ビーズの侵入直後に、細胞内にあるDNAセンサ分子がビーズを検出し、ビーズをオートファジーによる分解から回避させることが分かりました。これは、細胞には、オートファジーによる防御機構とは別に、侵入者がDNA（で被覆された物質）だった場合には分解せずに保持しておくという仕組みがあることを意味します。細胞が持つこのような柔軟な外来物質認識・処理機構の理解が進み、機能を自在に制御できる素子を持つ細胞を作れるようになれば、細胞集団の振る舞いの制御などに応用できると考えています（図2）。

■細胞内に人工的な構造体を作る

一般に、細胞の機能改変というと、ゲノム編集技術のように生命の設計図であるゲノムに手を加える方法が採られます。しかし、細胞内にあるゲノム情報を書き換えてしまうと、その細胞が分裂増殖した際に、ゲノム改変の影響が次世代の細胞に受け継がれてしまうという問題点があります。そこで我々の研究では、細胞内にあるゲノム情報には手を加えず、それ以外の場所（＝ビーズ周囲）に特殊な機能を持つ人工的な構造体（空間）を作り出し、それを利用して細胞の機能を制御することを目指しています。この場合、仮にビーズを保持する細胞が分裂増殖してもビーズ自体は増えないため次世代の細胞への影響は最低限に抑えられるだけでなく、必要に応じてビーズ保持細胞だけを殺すといった様々な制御が可能になると考えています。これまでの研究で、細胞内における遺伝子ON／OFF制御の場である細胞核の“器”部分にあたる「核膜構造」の人工形成に成功しています（図3）。

■今後の展望

生体–非生体ハイブリッド素子を使うことにより、生きた細胞の中に狙った構造体を人工的に作り出すための基盤技術の構築に成功しました。今後は、ビーズが細胞内へ侵入するタイミングの制御やビーズ周囲で遺伝子発現を起こさせる技術の開発を進める予定です。また、分子通信は、細胞間だけでなく、バイオマテリアルで構成されたマイクロロボット間の通信へ適用も想定されますので、既存のICT環境と分子通信環境をはじめとする生物に生来備わっているICT環境（Innate ICT環境）との間をつなぐ特殊な機能を持つ人工細胞型マイクロロボットの作製にも挑戦したいと考えています（図4）。

参考文献

[1]　小林昇平, “生体-非生体ハイブリッド素子を用いた細胞活動の理解と人為制御,” 情報通信研究機構研究報告 , vol.66, no.1, pp.31–35, 2020.

力学で生物ゆらぎの情報処理を理解して操作する

超省エネコンピュータや聴覚・触覚の生体内ICT開発を目指して

岩城 光宏
（いわき みつひろ）
未来ICT研究所
神戸フロンティア研究センター
バイオICT研究室
主任研究員

大学院修了後、大阪大学助教、特任准教授、理研にて副チームリーダーなどを経て、2022年にNICT入所。生物の力学情報処理の研究と応用に従事。大阪大学招へい准教授（兼務）。博士（理学）。

これまでの生物の研究から、脳神経ネットワーク等が進化の過程で電気的、分子的、力学的な情報通信を利用して省エネルギーで複雑な情報処理を行っていることが明らかになりました。これらの自然の情報処理システムを理解し応用することで、社会に革新をもたらす可能性があります。そこで私たちは、筋肉のような力学通信を利用した情報処理システムや分子レベルの弾性部品（ナノスプリング）の設計・分析を通して、超省エネルギーなシステム開発や聴覚・触覚の生体内ICT開発を目指しています。

■背景

18世紀から始まった電気的な情報通信技術や現代の光通信技術などは、電話、テレビ、コンピュータ、そしてインターネットにより現代社会で不可欠な発展を遂げました。一方で、生物に注目すると、脳神経ネットワークが利用する電気的な情報通信、分子を介したやりとり（分子通信）及び機械的な力を介した情報通信方法（力学通信）が数十億年かけて進化し、極めて少ないエネルギーで複雑な情報処理を実現しています。例えば、人間の脳はたかだか20 W程度の消費エネルギーでシステムを維持し、複雑な情報処理をしていると言われています。これらの自然のICTを理解し、新たな情報処理コンセプトを生み出したり、自然のICTシステム内部を設計・操作する技術は未開拓の分野であり、社会を変革する大きな可能性を秘めています。自然のICTの特徴の一つは、生物が利用できるエネルギーが極めて小さいため、システム内部の熱的なゆらぎを抑え込むことができず、情報処理が複雑で確率的なプロセスとなる点です。現在、脳の確率的な情報処理の研究が進められていますが、多数の神経細胞がネットワーク化された超複雑なシステムであるため、全容はまだまだ明らかにされていません。そこで私たちは、生命の階層の中でも比較的小規模で、近年、設計が可能になってきた生体分子システムに焦点を当てて研究を進めています。

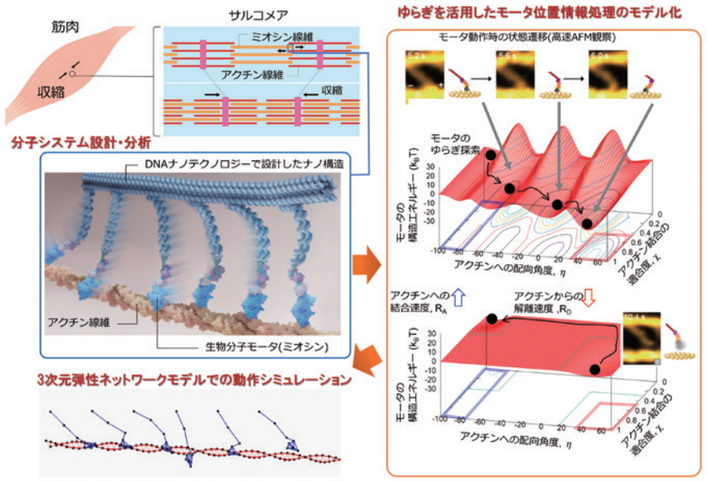


図1　生体分子システムの設計と動作シミュレーション

■生体分子システムの設計と内部動作解析

生体内では多様な生体分子が自己集合してシステムを構成し、その内部で力学的な情報のやり取りを行っています。例えば、動物が普遍的に持っている筋肉には、最小単位構造として存在するサルコメアと呼ばれる分子システムがあり、生物分子モータ（ミオシン）がお互いに力学通信を行いながら協調的に動作しています。個々のミオシンは熱的にゆらいでおり、システム内外と力学通信をしながら自身の位置情報を柔軟に処理しています。このため、サルコメアは力学通信を利用した情報処理を行うインテリジェントなマイクロボットとも言えます。また、熱的なゆらぎを活用して運動するので、人工的なアクチュエータでは実現できないレベルでの省エネルギー性を実現しています。この仕組みを理解し応用するために、私たちは、DNAナノテクノロジーを活用してサルコメアのような分子システムを人工的に設計し（図1）、設計したシステムの内部動作を世界で初めて精密に観察する技術を開発してきました[1]。同時に、内部動作を定量的に再現したシミュレーションモデルも構築し、動作予測や情報物理の視点から解析することで、自在な操作や超省エネルギーな情報処理の理解にもつなげる努力をしています。

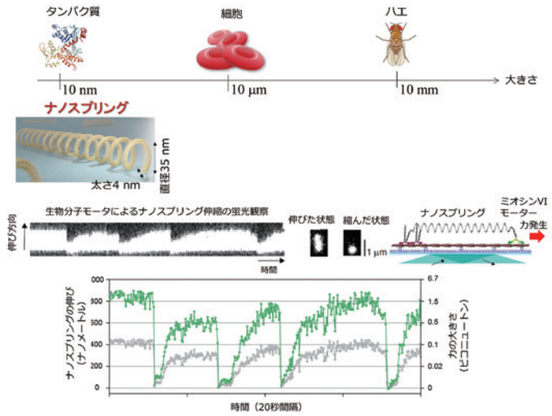


図2　ナノスプリングと生命の各階層の大きさとの比較（上）及び聴覚で働くモータ（ミオシンVI）1分子によるナノスプリングの伸縮の蛍光観察と力の検出（下）

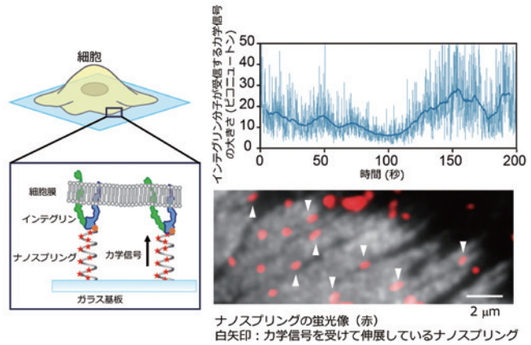


図3　細胞膜上のインテグリン分子が受信する力学信号の超高感度検出

■力学通信を可視化するナノスプリングの開発

2021年のノーベル生理学・医学賞は、生物が力学情報を受信して応答する素子となるメカノセンサ分子（Piezo）の発見に授与されました。ミオシンを含む生物分子モータもメカノセンサ分子であり、近年、多種多様な分子がメカノセンサとして機能していることが明らかになっています。しかし、これらの分子がどのような力学情報をやり取りしているのかを可視化するのは難しく、力学通信を利用した情報処理の理解が遅れています。そこで私たちは、生体分子の大きさ（10 nm程度）に近い世界最小のコイル状バネ（ナノスプリング）を設計し、分子同士や細胞と細胞外環境をバネでつないで、その伸縮の変動や向きを高感度に検出する技術を開発しました（図2）。DNA分子を組み上げてボトムアップ的に作成するため、フォトリソグラフィーなどの既存技術で作成するバネの数十倍の微細化に成功しています。生体材料ですので生体適合性も高く、生体分子システムや生体内へ導入しても毒性なく組み込めると期待しています。実証実験として、細胞が接着する足場の硬さを検知するインテグリン分子にナノスプリングを連結して観察すると、インテグリン1分子を介して細胞が受信する微小な力の大きさと向きが秒オーダーで変動している様子を世界で初めて捉えることができました（図3）[2]。ノイズとなる熱ゆらぎと大差ない力学信号を受信して処理しているため、分子システムや細胞の内部動作解析と合わせることで、確率的な動作をベースとした超省エネ情報処理の理解が進むと期待しています。

■今後の展望

私たちは自然のICTの中でも、消費エネルギーや効率の評価が容易な、力学通信を利用した情報処理システムに注目し、研究を行っています。筋肉のようなシステムの設計と分析から超省エネ情報処理の動作原理を理解し、自在な操作につなげることで、様々な社会実装の新しい可能性を追求しています。例えば、動作原理の理解から超低消費電力のコンピュータ設計のヒントを得たいと考えています。また、生物の持つ五感のうち、聴覚と触覚は生体外部の力学的な信号を検知・処理して脳に伝達しています。自在に制御可能なサルコメアのようなマイクロボットを聴覚・触覚システムに組み込むことで、特定の信号を増幅して感度を高めたり、病気や老化によって鈍った感覚機能を補助する可能性があります。さらに、ナノスプリングは力学信号を蛍光シグナルに変換するフォースセンサとして機能するため、生体内に組み込んで蛍光シグナルを検出することで、将来的には生体内の硬さ情報をモニタリングすることが可能になると期待されます。皮膚組織、血管、がん組織などの硬さは老化や悪性度との相関が高く、体内の状態を診断する新しい生体内ICT技術となる可能性を秘めています。

参考文献

[1] FUJITA, K., OHMACHI, M., IKEZAKI, K., YANAGIDA, T., IWAKI, M., "Direct visualization of human myosin II force generation using DNA origami-based thick filaments," Commun. Bio. l, 2, 437, 2019.
[2] MATSUBARA, H., FUKUNAGA, H., SAITO, T., IKEZAKI, K., IWAKI, M., "A programmable DNA origami nanospring that reports dynamics of single integrin motion, force magnitude and force orientation in living cells," ACS Nano, 17, 13185–13194, 2023.

記憶が、見えた。

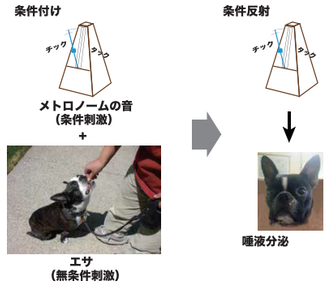


図1　パブロフの条件反射実験

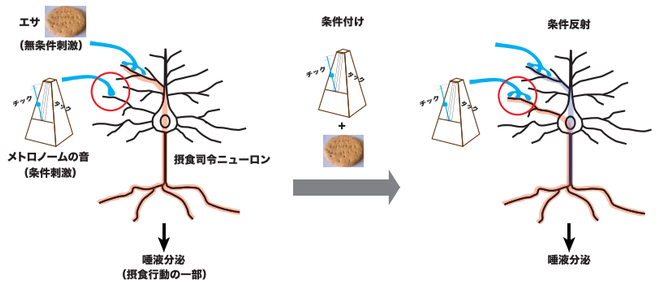


図2　ヘッブが想定したパブロフの犬の脳内での神経回路変化

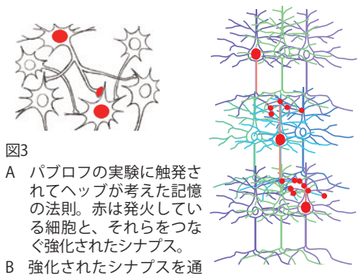


図3
A　パブロフの実験に触発されてヘッブが考えた記憶の法則。赤は発火している細胞と、それらをつなぐ強化されたシナプス。
B　強化されたシナプスを通じてつながり、記憶を保持する一連の細胞群。

吉原 基二郎
（よしはら もとじろう）
未来ICT研究所
神戸フロンティア研究センター
上席研究員
大学院修了後、1992年米国City of Hope研究所にてヒューマンフロンティアサイエンスプログラム長期フェロー、2000年米国MIT研究員の後、2006年マサチューセッツ大学医学校にてAssistant Professorとして研究室を主宰。2013年MIT客員教授を経て、2014年にNICT入所。一貫して遺伝学を用いた神経生理学に従事。博士（理学）。

著者らは、2013年にNature誌に発表したショウジョウバエの食べるコマンドニューロン上に条件付け時に形成される記憶の実体を、新たに生成するシナプス、“獲得シナプス（acquired synapses）”としてリアルタイムで追跡することに成功しました。この歴史上初めての記憶の直接観察によって、二つの情報が結びついて記憶がつくられる場所が特定されました。また、著者が2005年にScience誌で提唱した記憶の一般仮説、“ローカルフィードバック仮説”は、それをサポートする結果が近年相次ぎ、記憶の基本原理として確立される見通しが次第に濃厚になってきました。さらに、獲得シナプスの形成される場所で仮説を検証し、その決定的証拠を得ることを現在試みています。

■背景

“百聞は一見にしかず”。記憶を見た人が今までいなかったため、記憶という現象は雲をつかむようで、荒唐無稽な現実離れした議論や誤った研究方法が横行しています。コンピュータ上で自在に読み出され複製される0と1の並びとして情報を保存する装置に対し、本来脳の記憶をさす言葉であった“メモリ”という名前が与えられたため、逆に、脳の記憶装置がコンピュータのメモリと同じように働くものであるかのような錯覚がなされがちになりました。「脳の記憶が海馬から前頭葉へと移る」などという細胞生物学的にあり得ないことを、一部の神経科学者までもが真顔で語るのを見て唖然とさせられます。また、著者が鳴らした警鐘がその深刻さ故にNature誌の社説でも紹介されたように[1]-[4]、誤った論理の枠組みで実験を遂行した意味のない生物学論文が一流誌にも流布しています。その傾向が最も顕著で疑似科学が大量にまかりとおっているのが、方法論が定まらない記憶研究の現在です[5]。記憶の実体を捉え、確かな方法により解析可能な“記憶神経生物学”を確立することが、私たち記憶神経生物学プロジェクトの主眼です。全く新しい確固たる方法論[6]によって記憶の基本原理を学び、それを情報通信素子の新しいデザインに活用することを目指しています。

■パブロフの犬とヘッブ則

記憶を歴史上初めて明確な実験生物学のまな板にのせたのは、誰もが知るパブロフの犬の実験です（図1）[7]。犬にメトロノームの音を聴かせて餌を与えると、メトロノームの音だけで犬が唾液を分泌するようになりました。この実験は、カナダの心理学者ヘッブ（Donald Hebb）[8]をインスパイアし、図2のように、摂食司令ニューロンへのシナプスが強化されたとヘッブは推測し、二つのニューロンが連続して発火する時、その発火したニューロンをつなぐシナプス同士が特異的に強くなり、その他のシナプスは強化されないと仮定する“ヘッブ則”を考えました（図3A）。このようにして形成されたつながりがいくつも連なることにより記憶を担う神経回路がつくられる（図3B）、とヘッブは考えました。多くの人たちがこれを信じつつも、観察されたことはなかったので、その過程を実際に初めて見ることが私たちの最初の目標でした。

■記憶の基本原理―ローカルフィードバック仮説

ヘッブ則のしくみとして、筆者は“ローカルフィードバック仮説”を案出し、Science誌に発表しました[9]（図4A）。本仮説は、活動する二つの細胞がつながるシナプスにおいて細胞同士が局所的に物質を放出し合うことによってお互いに強め合い、それが即時的な短期可塑的なシナプス強化を担うと仮定しました。しかし、この仮説は、それまでの知見によく合致するものの、検証する術（すべ）のない全くの“机上の空論”だったのです。ミクロのシナプス変化とマクロの行動として現れる記憶を結びつけて、記憶時に起きるミクロの変化をモニターしなければ、仮説はテストできません。このミクロとマクロを結びつける役割を果たしたのが“コマンド（司令）ニューロン”でした。

■コマンドニューロンとパブロフのハエ

筆者がマサチューセッツ大学医学校において主宰していた研究室の総力を上げた行動スクリーニングにより、図2に描いたような摂食行動のコマンドニューロン、“フィーディング・ニューロン”が発見されました（2013, Nature）[10]。それをベースに、著者の研究室にポスドクとして留学していた櫻井晃（現、記憶プロジェクト主任研究員）ら[11]がイヌのメトロノームの音の代わりに、ショウジョウバエが“棒を離す”刺激を条件刺激としてパブロフの条件反射実験を行ったところ、フィーディング・ニューロンの反応性が変わり、“棒を離す”条件刺激によって活動するようになりました（図4B）。複雑なイヌの脳では調べるのが困難でしたが、ヘッブが想定したような神経回路の変化が実際におこっていたことが、単純な動物の実験系を使うことで明確に示されました。

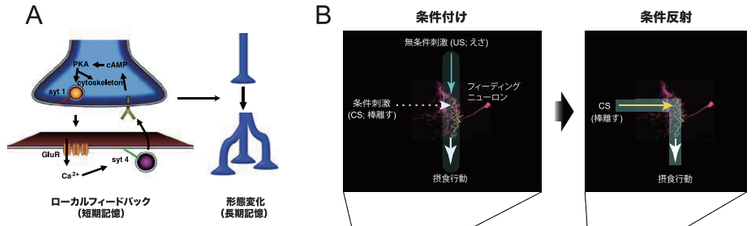


図4
A　ヘッブ則を満たす細胞機構としての“ローカルフィードバック仮説”[9] (Science誌より、許可を得て転載)。
B　摂食コマンドニューロン、“フィーディング・ニューロン”が条件反射のミクロとマクロをつないだ[11] (Current Biology誌より、許可を得て転載)。

■記憶の現場観察（“獲得シナプス”）と仮説の検証

条件付け時にフィーディング・ニューロンの樹状突起を精査することによって、記憶形成と同時に新たなシナプスが形成されることを発見し、ヘッブの用語にちなんで、“獲得シナプス（acquired synapses）”と名付けました。さらに、獲得シナプスのできる瞬間もリアルタイム観察することに成功し、“記憶の現場を目撃する”という目標は達成できました（Yoshihara, Sakurai, Yoshihara、発表準備中）。さらに、記憶の根本原理を求めて、獲得シナプスの生成する場所で、“ローカルフィードバック仮説”の検証を試みています。

■おわりに

アポロ11号で人類が月に立ってから50年の日、幼心への激しい衝撃が鮮明によみがえりました。と同時に、あの時ほどの衝撃を自らの科学でそれまで感じたことがないことに、はっとしました。それほどの感動のためには、“記憶のできる現場”を目撃するしかない気がしていました。ついにその場所まで今たどり着くことができましたが、私以外の万民にも月面着陸ほどのインパクトを与える次の発見は、記憶の基本原理です。その候補として20年前に案出しScience誌で提唱した“ローカルフィードバック仮説”を掲げてアメリカで研究室を始めましたが、近年得た数々の状況証拠は全て、著者のこの仮説が記憶の根本原理であることに合致します。さらに決定的な仮説検証は、現在脳内で検出不可能な微小シナプス電流を記憶形成時に観察することですが、そのための新たな方法も、一歩ずつ実現に近づいています。月面が目前に迫り来る高揚を感じつつ、長年をかけた挑戦の結実をかみしめています。

参考文献

[1] Yoshihara and Yoshihara (2018) Journal of Neurogenetics 32, pp.53–64.
[2] 吉原基二郎, “necessary & sufficient”に気をつけて一若き生命科学者の健全な思考法のために－, 実験医学　Trend Review Vol.37 No.4（3月号）, pp.571–578, 羊土社, 2019.
[3] Nature Editorial (2018) 558, p162
[4] Nature ダイジェスト 15 : 38, 2018.
[5] 吉原基二郎, “疑似科学の時代,” NICT NEWS (2018) No.5, 471.
[6] 吉原基二郎, シナプスの可塑性と記憶の形成とを結ぶショウジョウバエの摂食行動に関わるコマンドニューロン, ライフサイエンス新着論文レビュー, 2013.（https://first.lifesciencedb.jp/archives/7415#more-7415）
[7] 吉原基二郎, “ノーベル賞の神経科学, Ivan Petrovich Pavlov (1904) 条件反射を “発見” した, 記憶神経生物学の先駆者,” Clinical Neuroscience Vol. 40 (8), pp.928–933, 中外医学社, 2022.
[8] Hebb D.O., The organization of behavior; a neuropsychological theory, New York: Wiley, 1949.
[9] Yoshihara, M., Adolfsen, B., Galle, K.T., and Littleton, J.T., “Retrograde signaling by Syt 4 induces presynaptic release and synapse-specific growth,” Science 310, pp.858–863, 2005.
[10] Flood, T.F., Iguchi, S., Gorczyca, M., White, B., Ito, K., and Yoshihara, M., “A single pair of interneurons commands the Drosophila feeding motor program,” Nature 499, pp.83–87, 2013.
[11] Sakurai, A., Littleton, J. T. Hiroaki Kojima, H. and Yoshihara, M., “Alteration in information flow through a pair of feeding command neurons underlies a form of Pavlovian conditioning in the Drosophila brain,” Curr. Biol. 31, pp.4163–4171, 2021.

小さな脳の仕組みに学ぶ

昆虫脳の動作にならった効率的ICTの研究開発

古波津 創
（こはつ そう）

未来ICT研究所
神戸フロンティア研究センター
神経網ICT研究室
研究マネージャー

大学院修了後、東北大学ポスドク研究員、助教を経て2018年にNICTに入所。昆虫の脳機能解析及びそのための脳活動・行動計測システム開発などに関する研究に従事。博士（情報科学）。

近年におけるICTの利用シーンの多様化に伴い、IoT機器やドローンなどの小型情報機器の機能向上が求められています。これらの機器は計算資源と動力に厳しい制約があるため、軽量な計算で必要最小限のタスクを効率的に処理するための技術が必要になります。こうした課題に対するユニークなアプローチとして、私たちは昆虫の小さな脳における情報処理に着目した研究開発に取り組んでいます。

■背景

現在、地球上で最も繁栄している動物群は昆虫であり、その種数は100万に及びます。その繁栄の基礎にあるのが、優れた感覚能力と運動能力、そしてこれを支える神経系の働きです。モデル昆虫であるキイロショウジョウバエの脳の容量は1 mm^3以下で、これを構成する神経細胞は約20万個にすぎません（ヒト脳の神経細胞数は約1,000億）。しかし、昆虫はそのごく小規模な脳によって、感覚入力からの特徴抽出、情報の統合と意思決定、そして運動制御に至る一連の情報処理の全てを行っています（図1）。実行可能な行動のレパートリーは、その一部だけをみても、環境の探索、外敵からの逃避、配偶行動、社会的コミュニケーションと多岐にわたります。昆虫の脳は、コンパクトでありながら環境と自律的に、かつリアルタイムで相互作用できる極めて効率的な情報機器といえ、その作動原理には多くのICT応用の可能性が眠っていると私たちは考えています。

現在、研究対象として私たちが注目しているのは視覚系です。ショウジョウバエの主な視覚器は複眼ですが、これを構成する個眼は左右合わせても約1,600個しかありません。このわずか1,600“画素”の視覚入力からハエの脳が時間的・空間的パターンを情報として取り出し、行動を制御する仕組みを解明できれば、例えば計算資源や動力といった面で制約の多いマイクロロボットやドローンなどを画像情報を使って制御する技術への応用が見込めます。こうした観点から、私たちはショウジョウバエが視覚を手がかりにして他個体を追いかける「追跡行動」の制御機構のモデル化に取り組んでいます。

■歩行シミュレーターを用いた行動解析

私たちがテーマとする追跡行動は、求愛のために雄が雌を追いかける行動です。雄は雌を検知すると、視覚を主な手がかりとして速度や進行方向を俊敏に制御し、動き回る雌を追跡します。この追跡行動中の視覚入力と運動出力との間の定量的関係を明らかにするため、私たちは被検体となる雄個体を実験装置上に拘束した状態で“歩かせる”ことが可能な歩行シミュレーターと呼ばれる実験系を用いています（図2）。この実験系では、ハエ視覚器の時間・空間分解能を上回る精度で制御された人工視覚刺激を装置上のハエに呈示する一方、前後左右方向のハエの歩行速度を記録できます。これを用いることで、原理的には、様々な視覚刺激に対する雄の行動反応を一つ一つ調べることが可能です。しかし、雄の行動は雌個体を検知した時に限って活発な追跡を行うようにプログラムされているため、歩行シミュレーター上の雄に対して単に視覚刺激を呈示するだけでは追跡行動は生じません。歩行シミュレーターで追跡行動を解析するには、雌フェロモン刺激その他の方法で、あらかじめ雄を“求愛モード”にしておく必要があるのです。

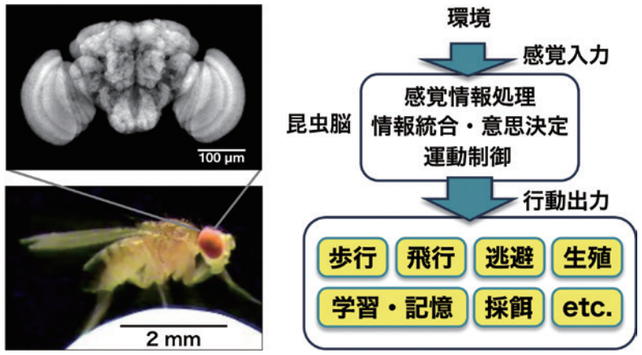


図1　キイロショウジョウバエの脳が備える情報処理能力

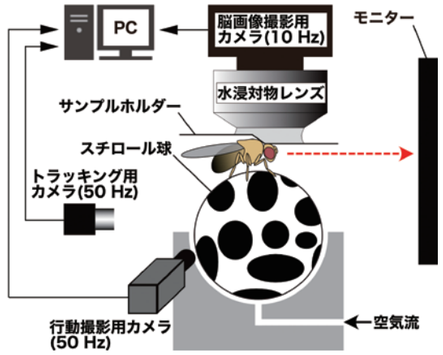


図2　歩行シミュレーター

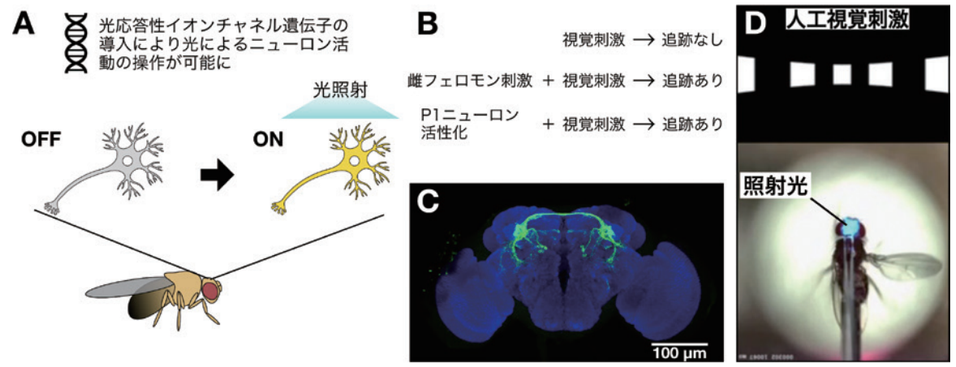


図3　人工刺激を用いた追跡行動の惹起法
（A）光操作による神経活動の操作（B）追跡行動の制御機序（C）P1ニューロン群（緑色）青色は脳全体の対比染色
（D）歩行シミュレーター上で人工視覚刺激を追跡する雄

■ニューロンの光操作と人工視覚刺激による行動操作手法の開発

雌フェロモンは化学物質であるために刺激の強度や持続時間の制御が難しいという実験上の問題があります。そこで私たちは雌フェロモン刺激の代わりに、雌フェロモン刺激下で活動する脳内の神経細胞を人為的に活性化するアプローチをとりました（図3）。光応答性の機能分子を神経細胞に導入し、光照射によって神経活動を遠隔的に操作する「光操作」と呼ばれる技術を応用し、雄に歩行シミュレーター上を歩かせながら、雌フェロモンの情報を受け取って求愛行動を活発化する「P1ニューロン群」と呼ばれる神経細胞集団を活性化したのです。これにより、雄の頭部への光照射と人工視覚刺激の呈示、この二つの操作によって、雄が“求愛モード”の時にだけ示す追跡行動を再現性よく引き起こし、解析することが可能になりました。現在、この独自手法を用いた行動解析から、視覚刺激の空間的配置や移動パターンが追跡行動に及ぼす影響の詳細を明らかにしつつあります。

■追跡行動の神経回路機構を探る

追跡行動を生み出す情報処理機構の解明に向け、神経回路レベルでの解析も進めています。前述の光操作を応用した行動スクリーニングから、視覚情報の統合と歩行制御、双方のプロセスに関わると考えられるニューロン集団をこれまでに見出しています。また、歩行シミュレーターと脳活動の画像計測技術を組み合わせた独自のシステムを用いて、追跡行動中に生じる神経活動のリアルタイム計測にも取り組んでおり、追跡対象の位置や速度を反映した応答が高次視覚野に生じることを見出しつつあります。今後、視覚入力・運動出力・神経活動、この三者間の関係をより詳細に解析することにより、視覚情報を歩行運動に変換する回路メカニズムの実態に迫ることができると期待しています。

■今後の展望

独自手法を活（い）かして得られた行動・神経活動データを基にして、現在、数理モデリングを専門とする研究グループとも連携しながら、追跡行動制御機構のモデル構築を進めています。近年、生物の小規模な神経系が行う情報処理に着目したICT研究への関心は高まりつつあり、民間企業も参入を始めています。しかしながら生物の機能性に着想を得た技術開発、いわゆる生物模倣は、物性や構造に関するものが主流であり、情報処理に関する取組はまだ少ない状況です。今回ご紹介したような個別の取組を通じて、未開拓の研究分野の拡大にも貢献していきたいと考えています。

生体システムをヒントにした超省エネなエネルギー変換装置の開発を目指して

古田 茜
（ふるた あかね）
未来ICT研究所
神戸フロンティア研究センター
バイオICT研究室
研究員
博士（理学）

●経歴
2001年　国際基督教大学教養学部理学科卒業
2009年　東京大学大学院博士課程修了
2011年　NICT入所
2018~2021年　学振RPD特別研究員

一問一答

Q 今までで最大の失敗は？

A 学生時代、学会のポスター発表会場で、分子モーターダイニンの発見者ご本人であるとは存じ上げず、ダイニンについて一から説明をして恥をかきました。

Q 最近はまっていること

A 食いしん坊な友人たちとレシピを共有して、様々な料理を作ることを楽しんでいます。住まいが明石の海の近くなので、釣った魚を美味しく食べるレシピにチャレンジしたいです。

Q 研究者志望の学生さんにひとこと

A 興味のあることに、とことんのめり込んでください。どんなにマニアックなことでも、誰にも負けない知識（あるいは技術）が、必ず研究者としての支えになると思います。

私たち人間はパン1枚のエネルギーがあれば2時間くらいは歩き回ることができます。これを電気モーターなどを用いてバッテリー駆動のロボットで実現しようとすると、制御機構も含めるとかなりの重さになり、パン1枚分のエネルギーだけでは数分で止まってしまうでしょう。もし、パン1枚でこれだけの仕事をするためのシステムを人間が完全に制御できる形で使えるようになれば、AIによる消費エネルギーが爆発的に増大したり、気軽に動画を送りあったりするような現代の情報通信におけるエネルギー消費問題を解決することにつながる可能性があります。生き物の動きを引き起こしているのは、髪の毛の太さの千分の1のサイズの分子モーターと呼ばれる分子機械で、筋肉、細胞分裂、物質輸送など、動きに関わるあらゆる仕事をしています。個々の分子モーターという素子はとても小さいのですが、例えば筋肉ではこの素子が1センチメートル当たり2兆個という物凄い集積度で並んでいて、これが、ATPという物質の化学エネルギーを熱を介さずに直接運動エネルギーに変換することで、エネルギーロスを最小にして大きな仕事を取り出すことに成功しています。生物のエネルギー変換機構の凄いところはそれだけではなく、ロボットが純粋な電気エネルギーの形でエネルギー源が与えられているのに対して、生物は例えば「パン」という物質の形で与えられています。生物はこのパンを自分で咀嚼（そしゃく）してバラバラにして、さらに酵素で消化して分子レベルまで粉々に砕き、そこからエネルギーを取り出しています。このように、環境中の化学エネルギーを別のエネルギーに変換する驚異的な分子機械の設計原理を知るため、私たちは、分子機械を部品レベルからオモチャのブロックのように組み立てて再構成し、「創（つく）って理解する」実験的なアプローチを確立してきました。これまでに、天然には存在しない新しい機能を持つ分子モーターを創ることに成功しており、これらの分析から分子モーターの設計原理が分かりつつあります。今後、分子機械の秘密を解き明かすことで、生き物の優れた特長を生かした新しい超省エネ情報通信システムの開発につなげていきたいと思っています。

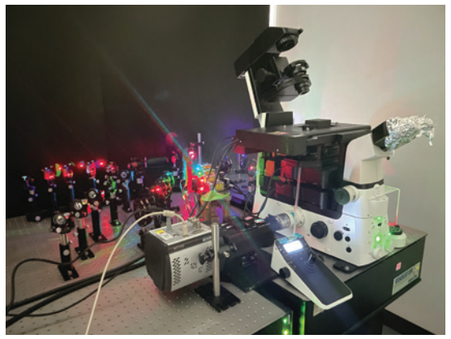


図　蛍光４色を同時に観察できる顕微鏡を構築中

ダイバーシティ推進室初のイベント「NICT Diversity Day 2024」を開催

ダイバーシティ推進室

令和５年度に新設されたダイバーシティ推進室が、国際女性デーの3月8日に、日本橋イノベーションセンターにて初となるイベント「NICT Diversity Day 2024」を開催。会場・オンライン合わせてNICT役職員、約200人が参加しました。

開会に際し、徳田英幸理事長は、ダイバーシティを推進することによって優秀な人材や国際競争力の獲得はもとより、NICT全体のクリエイティビティやイノベーションの創出力が強化されるとのねらいを示し、柔軟性を持ったしなやかな組織を目指したいと挨拶を述べ、また職員の女性比率については、現状はICT分野においては飛び抜けて高いわけでも低いわけでもないものの、今後30%以上を目標にしていきたいとダイバーシティ推進室の活動に期待を寄せました。

続いて登壇した盛合志帆執行役・ダイバーシティ推進室長からは、ダイバーシティ推進室が内閣府男女共同参画局「性別による無意識の思い込み（アンコンシャス・バイアス）に関する調査」に準じた内容で実施した機構内アンケートの結果報告がありました。アンコンシャス・バイアスの意識を問う41項目の回答の平均値は10%と、内閣府調査における平均（20.7%）を大きく下回る結果で、NICT内の性別の役割意識は日本国内の一般的な数値に比べてかなり低いということがわかり、これはNICTのアピールポイントとして発信できると評価する一方で、自分自身が性別に基づく役割を他者から決めつけられたり、その雰囲気を感じたりした経験については男女差が大きく（女性49.1%、男性24.2%）、さらに総合職や一般職と比べて管理職のスコアが低いという役職差も見られ、機構内の性別の役割意識は一般と比べて低いものの、いまだ存在していると指摘しました。また、男女に関わるバイアスだけでなく、年齢や国籍、LGBTQ、障がいの有無といったダイバーシティの観点に基づく取組を求める声も多く寄せられ、多様な価値観を持つ職員の共感を獲得するためにもコミュニケーションを強化したいと展望を述べました。

イベント後半は、お茶の水女子大学ジェンダード・イノベーション研究所特任教授の佐々木成江先生を迎えて徳田理事長、盛合執行役との鼎談が行われました。ジェンダード・イノベーションとは、研究や技術開発の中に性差分析を入れることで科学技術分野において発見やイノベーションが生まれるという概念で、佐々木先生からはこれまで性差分析が取り入れられてこなかったシートベルトや医療など身近な技術を例に課題点が紹介されました。AIの学習データが偏っていることでバイアスが再生産されてしまうといったようなAI技術の中に潜むジェンダー・バイアスや、組織内のマイノリティ比率向上の工夫の先にある新たなイノベーションなど、4テーマで意見交換を行い、会場やオンラインからの参加者と活発な質疑応答を行いました。

講演を行う佐々木成江先生

鼎談の様子

佐々木成江先生を囲んで　左から土井監事、佐々木先生、徳田理事長、盛合執行役

閉会の挨拶には土井美和子監事が登壇し、これまでDE&IのEquity（公平性）の部分に科学者はどのように寄与できるのだろうかと考えていたが、ジェンダード・イノベーションの概念を知って納得できた、この知見を共有していきたいと締めくくりました。

本イベントの詳細は、後日NICTダイバーシティ公式サイトに掲載予定です。

施設一般公開イベント

NICT オープンハウス 2024

6/28 Fri ▶▶ 6/29 Sat

参加費無料・事前申込制
（オンライン配信は事前申込不要）

6/28 ビジネス向け

- 基調講演・特別講演
- 研究者によるプレゼンテーションタイム

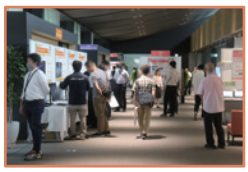
6/29 学生・一般向け

※小学生以上

- NICT探検ツアー 事前申込必須
- トークセッション
- 南極ゆうびん・南極コーナー

両日開催 技術展示

NICTの最新の研究成果・研究技術の数々をまとめた技術展示ポスターを約90タイトル公開！



イベント詳細・事前申込方法は
イベント公式サイトをご確認ください！

https://www2.nict.go.jp/publicity/openhouse/2024/

お問合せ先
国立研究開発法人情報通信研究機構
「NICT オープンハウス 2024」事務局
open-house-2024@ml.nict.go.jp

WTP WIRELESS TECHNOLOGY PARK 出展

ワイヤレス・テクノロジー・パーク（WTP）2024

会期 2024年 5月29日(水)～31日(金)

会場	東京ビッグサイト 西 3･4 ホール
開催時間	10:00 ～ 18:00（最終日は 17:00 まで）

NICT は、無線通信技術の研究開発に焦点を当てた専門イベント「ワイヤレス・テクノロジー・パーク（WTP）2024」に出展します。NICT ブースと Flexible Society Project（FSPJ）パビリオンでは、Beyond 5G/6G を中心とした無線通信研究の最新成果について、実機を用いたデモンストレーション等により紹介します。また、「NICT セッション」や「FSPJ セッション」などの独自セミナー企画で展示技術の詳細を説明するほか、主催者が企画する「基調講演」において、日本の Beyond 5G 時代の R&D 戦略とテラヘルツ波の可能性について発表します。皆様のご参加を心よりお待ち申し上げます。

▲昨年の様子

展示
- ●ワイヤレスエミュレータ
- ●5G/ ローカル5G 高度化技術
- ●空や海のモビリティとの通信技術
- ●サイバネティック・アバターのためのNW 技術
- ●宇宙光通信ネットワーク
- ●衛星フレキシブルネットワーク基盤技術
- ●ポータブル SIP4D
- ●テラヘルツ無線技術
- ●Beyond5G モバイルテストベッド
- ●Beyond5G が実現する新しい社会の形
- ●Massive IoT
- ●Flexible Society Project

主催 株式会社リックテレコム｜詳細はイベント公式サイトをご覧ください。

公式 https://www8.ric.co.jp/expo/wj/

NICT NEWS 2024 No.3 通巻 505
編集発行：国立研究開発法人情報通信研究機構 広報部
発行日：令和6年（2024年）5月（隔月刊）

〒184-8795 東京都小金井市貫井北町4-2-1
TEL: 042-327-5392 FAX: 042-327-7587
E-mail: publicity@nict.go.jp

URL: https://www.nict.go.jp/
@NICT_Publicity
#NICT

ISSN 1349-3531 (Print)
ISSN 2187-4042 (Online)

NICT SEEDs
産業界、大学、地域等の技術の新たな価値の創出や課題解決にご活用いただくため、NICT のシーズを公表しています。
SEEDs集はこちら

〈再生紙を使用〉