

# iCeMS

## Our World, Your Future

京都大学アイセムス(物質—細胞統合システム拠点)

Vol. **7**  
2019 March

contents

**02**

特集

世紀をこえてリバイバル!

生命の謎をひもとく  
メカノバイオロジーの可能性

**06**

連載

フロントランナーのまなざし

だれもが驚く新しい方法で、  
自然を表現したい  
杉村 薫 特定拠点准教授

**09**

アイセムスの一翼

外国人研究者支援室  
有本和美さん

**10**

iCeMS の動き

「力のベイズ推定法」を用いて、個体発生の過程で働く細胞間の力を可視化した。さなぎ期のショウジョウバエ翅の顕微鏡観察をもとに、力の釣り合い方程式を解くことで、細胞接着面の張力(左下)と細胞の圧力(右上)のマップを得られる。(詳細は7ページ参照)

# 世紀をこえてリバイバル！ 生命の謎をひもとく メカノバイオロジーの可能性

私たち人間をはじめ生物の体を構成する細胞や組織はどのようにして形を変えたり、あるいはその構造を保ったりすることができるのでしょうか。まだまだ知られていない生物の謎を解き明かす学問があります。その名は「メカノバイオロジー」。1世紀も前に問題提起されたメカノバイオロジーはここ10年間で飛躍的に発展し、組織や細胞にはたらく物理的な力の役割が少しずつあきらかになりつつあります。この問題に取り組むiCeMSの研究者が、その魅力と展望をご紹介します。

## どうして力学？

メカノバイオロジーは、細胞の内外で発生する力が、細胞や組織の活動にどのように影響を及ぼすのかを研究する学問です。キーワードは「力」。生物の体のいたるところで「力学」が働いているのです。たとえば、細胞は自らの足場を蹴ることで、作用反作用の力が働き、身動きができます。また、繊毛の運動により、卵子や受精卵は卵管内を輸送され、異物は気道内から排除されます。このように力学的な観点で捉えないと、生体内で起こっているできごとを科学的に説明できません。生命のメカニクスを詳細に解明すると、私たちの体のしくみが理解できるようになり、生きていない「物」との違いがわかる日がくるかもしれません。



**杉村 薫** 特定拠点准教授

**すぎむら・かおる** 1978年に兵庫県に生まれる。京都大学大学院理学部生物科学専攻博士後期課程修了。博士(理学)。日本学術振興会特別研究員、理化学研究所研究員をへて、iCeMS特定助教に。2017年から現職。



**中澤直高** 特定助教

**なかざわ・なおたか** 1984年に群馬県に生まれる。東京理科大学大学院基礎工学研究科生物工学専攻博士後期課程修了。博士(工学)。日本学術振興会特別研究員、シンガポール国立大学メカノバイオロジー研究所研究員をへて、2017年から現職。



**硬い足場**

硬い地面では速く走れるが、ぬかみでは遅い。それは細胞もいっしょ。自らの足場を蹴ることで、身動きができる。

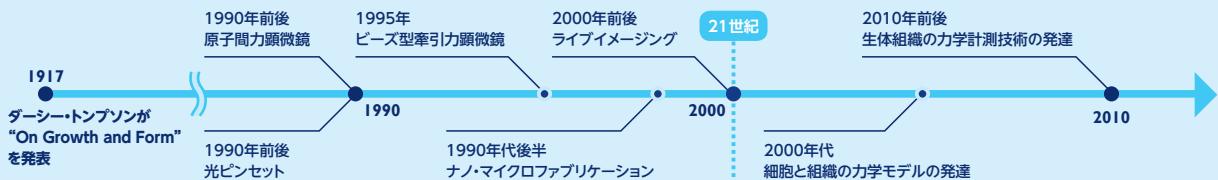


**柔らかい足場**



橋は石と石の間に働く力学を考察した上で、形をつくることができます。生物も細胞間に働いている力を考えないと、その構造を理解できません。

## はじまりは約100年前——メカノバイオロジーの歴史



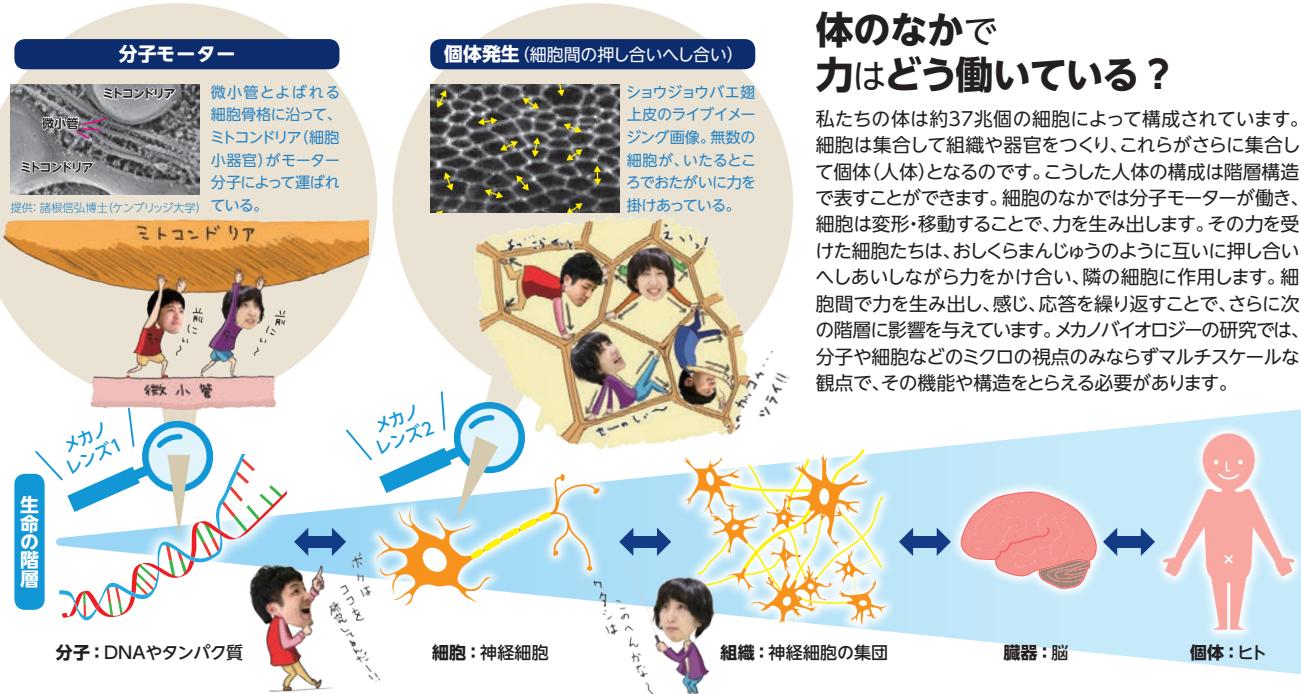
メカノバイオロジーは新しい分野と見なされていますが、その起源は古く、約100年前まで遡ります。1917年、生物学者のデーシー・トンプソンが「On Growth and Form」(『生物のかたち』)を発表。動植物の構造や形が形成される過程には物理学と数学のロジックを適用でき、生物の形態と機械的な力に

は関連があることを提唱しました。しかし、当時の技術では詳細に研究することはむずかしく、トンプソンの提起した問いはしばらく眠りにつくことになります。21世紀前後に、力学計測技術、蛍光イメージング、微細加工技術などの自然科学の多くの分野で研究の視点や技術の転換が同時多発的に生じて、生命現

象と機械的な力との関係を分子レベルで詳細に研究できるようになりました。現在、諸分野の知見や技術が総力をあげて導入され、研究の加速度はぐんぐんと上がっています。トンプソンの問いは1世紀の時をこえて「メカノバイオロジー」としてよみがえり、研究者たちはあらためてその謎に挑戦しているのです。

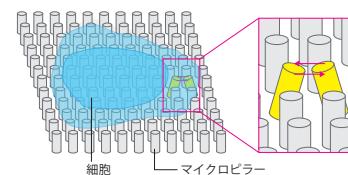
## メカノバイオロジーのレンズでのぞいてみたら……

21世紀以降に発達した高度な技術をもちいて生命を力学的な視点で観察した結果、細胞や組織を新たな考え方で捉えることができつつあります。その一部を紹介しましょう。メカノバイオロジーのレンズをとおりて世界をみると、これまでの常識を覆す発見ができるかもしれません。



## 細胞の運命は環境が決める——細胞の分化

細胞は力を感じるだけでなく、周囲の組織の「硬さ」を感知して応答を変えます。たとえば間葉系幹細胞は骨や筋肉、血管などの細胞に分化することから、再生医療への応用が期待されていますが、細胞を支える「基質の硬さ」の違いにより、異なる種類の細胞に分化することが2006年にあきらかになりました。具体的には、基質を柔らかくすると神経細胞に、硬いと骨に、その中間は脂肪になります。細胞が機械的なシグナルとして検知した基質の硬さは、細胞内で生化学的なシグナルなどに変換され、その情報は核に伝達されます。それにより、遺伝子発現が調節され、細胞の分化に影響を与えるのです。これは周囲の環境がもつ力学的な特性が、細胞の運命を左右することを意味します。



マイクロピラーという剣山のような基板上に細胞を培養することで、細胞が基質をつまむようすを可視化できる。上図はそのようすを模式的に示したもの。ピラーの動きの向きを表す赤い矢印が向かい合っているため、細胞が基質をつまんでいることが分かる。



## どうやって研究するの?—研究手法・技術の紹介

### 👁️ 観る (ライブイメージング)

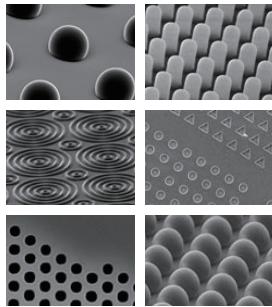
生体組織や細胞が生きた状態で、そのはたらきや遺伝子が発現するようすを可視化し、外部から観察できる技術です。緑色の蛍光を発する性質をもつたんぱく質 (GFP) などを生きた細胞やタンパク質に目印として付けることで、蛍光顕微鏡などで生体組織内の細胞やタンパク質のふるまいをライブで観察できます。



マウスの脳から単離したニューロンの微小管、細胞核を可視化できる。左:微小管(緑)、中:細胞核(マゼンダ)、右:二つを重ね合わせた画像。

### 🔧 整える (微細加工技術)

ポリジメチルシロキサンやポリアクリルアミドなどの高分子材料は、その表面を細胞の足場となるタンパク質でコートすることで、細胞を接着できるようになります。このとき、架橋剤の割合を変えることでさまざまな硬さの足場を作れます。微細加工された基板と組み合わせることで、細胞の接着パターンを変えたり、細胞が通る流路などを作ったりできます。



何でもつくれます。

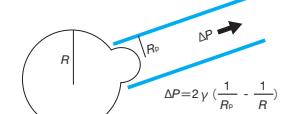


走査型電子顕微鏡で撮影されたさまざまな細胞基板の表面。微細加工技術を施した型と生体材料を用いて、多様な形、パターンをもつ細胞の基板を作れる。  
提供 Gianluca Grenzi 博士(シンガポール国立大学メカノバイオリジ研究所)

メカノバイオリジの研究を進めるには、細胞や分子のふるまいを精密に調べる必要があります。研究の手法・技術はさまざまですが、ここでは観る、測る、整えるという3つの視点でその一部を紹介します。

### 📏 測る

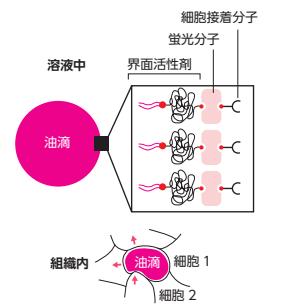
**サンプルに直接接触する方法 (マイクロピペット法)**  
マイクロピペットの開口部を細胞や組織などのサンプルに接触させて引く力をかけると、サンプルはピペットのなかに吸い込まれます。サンプルの変形から、表面張力の絶対値を計測できます。



ピペット内に吸い込まれたサンプルの一部がちょうど半球型に変形するように陰圧を調整する。



**組織にセンサーを入れて測る方法 (油滴法)**  
油滴を細胞と細胞のすきまに入れて、周囲の細胞から作用する力で油滴が変形します。あらかじめ溶液中で油滴の表面張力を測ることで、周囲の細胞から作用する力を計算できるのです。



油滴は界面活性剤、蛍光分子、細胞接着分子でコートされている。細胞間に挿入することで、細胞どうしの押し合いへし合いを測定できる。

### column 定量データとは

数値によって計測、集計、分析が可能なデータのことを「定量データ」といいます。上記の技術を駆使すると、複雑な生命のしくみを解析するための定量データを得ることができます。メカノバイオリジの分野に限らず、現象を科学的に理解するには、個人の主観的な感想や漠然とした情報ではなく、客観的かつ詳細な数値が必要です。研究者たちは、日ごろから膨大な定量データの収集、比較、分析を行うことで、理論モデルを形成したり、未知の領域を発見したりできるのです。



## アイセムスの取り組み

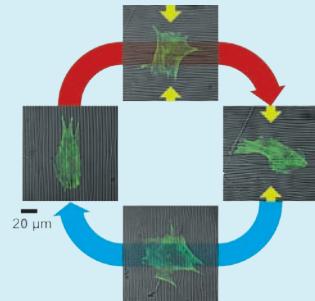
iCeMSでメカノバイオリジの研究に取り組む研究者たち。「力学」を観点に、生命のしくみを解き明かしたいという熱意はいっしょですが、それぞれ扱うスケールは異なります。いったいどんな研究を行っているのでしょうか。



### 田中 求 特任教授 (iCeMS-CiMPhys)

私たちの身体には筋肉や骨、神経など「硬さ」の異なる組織があり、それらのもととして働く細胞やその周りの環境(細胞外基質)の硬さもそれぞれ異なります。このような細胞周辺の「硬さ」や「向き」などの性質を、測ったり計算したりするのは物理の得意とする分野です。私たちは「硬さや向きを自在に変えられる材料」を使って、細胞をとりまく環境の変化が「健康な細胞が病気になる」というような細胞の働きや運命に与える影響を、医学・生物の研究グループと協力してあきらかにしています。

筋肉細胞の整列の観察。筋肉のもとになる細胞(筋芽細胞)を細かいシフのある基板の上にくと、シフの向きの変化に対応して、細胞そのものの伸びる方向と細胞骨格(緑)のそろう方向を変えることがわかる。

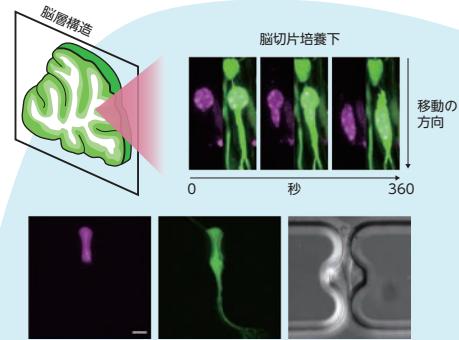


ワタシはカモ... もいい、ハエ!! ...のつり



### 杉村 薫 特定拠点准教授

ヒトをふくむあらゆる多細胞生物は、「個体発生」とよばれるプロセスを通じて精緻なかたちを備え、複雑な機能を実現する身体を獲得します。個体発生の過程では、機械的な力が変形の駆動力として必須の働きをします。私たちは、物理学と数理統計学、ライブイメージングを組み合わせ、個体発生の過程で働く「見えない力」を「見えるかたち」から推定する手法を開発しました。開発した手法をハエの翅に適用し、機械的な力が細胞間の情報のやり取りを担うメッセンジャーとしても働くことを見出しました。



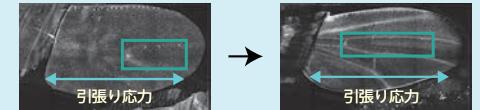
上:脳切片を培養しながら、その中を移動するニューロンを観察した(マゼンダ:細胞核、緑:細胞質)。移動のさい、細胞核の変形が観察される。下:微細加工技術によって作製した、微小な間隙を通過するニューロンを観察した(マゼンダ:細胞核、緑:細胞質)。スケールバーは5μm。

### 中澤直高 特定助教 (見学グループ)

脳発生過程において、新しく生まれたニューロン(神経細胞)は神経突起が複雑に絡み合った微小な空間をかいくぐりながら、生まれた場所から機能する場所まで移動します。この過程で、ニューロンは機械的な力を用いてどのように微小な空間をすり抜けるのか、そのときに受ける機械的ストレスに対してどのように応答するのか、などの点に関して多くの謎が残されています。私たちは、ニューロンが神経組織内を移動する際の細胞核の動きに着目し、これらの謎の解明に取り組んでいます。



### 組織伸長



ショウジョウバエ翅上皮では、組織の遠近軸方向(体の内側から外側に向かう方向)に沿った引張り応力が、細胞配置換えの方向を決める。図のピンク色の部分で接着の再編成が起こり、細胞が引張り応力に壊れることなく配置換えが行われる。

### 細胞配置換え



細胞が増殖・分化し、受精卵から生物の体がつくられる過程を「**個体発生**」という。そのさい、細胞はおしくらまんじゅうのようにお互いに押し合いへしあいながら、力をかけあっている。個体発生を制御する化学的なシグナル伝達経路が明らかになりつつある今、「**機械的な力がいかに生物の形に影響をあたえるのか**」という問いに注目が集まる。杉村薫准教授は「**力**」を軸に、イメージング技術、ソフトマター物理、数理統計学など、多岐にわたる領域を縦横無尽にかけめぐり、生物の謎を解明すべく研究に没頭している

## だれもが驚く新しい方法で、自然を表現したい

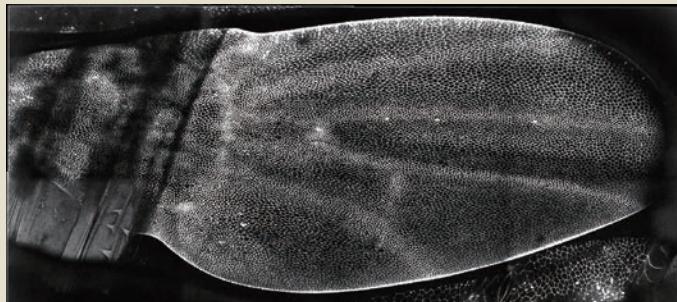


すぎむら・かおる  
略歴は2ページに掲載

特定拠点准教授 **杉村 薫** Kaoru Sugimura

「これはショウジョウバエの翅のライブイメージングです」。杉村准教授が机上のノートパソコンをくりとこちらに回転させた。映し出されていたのは、ショウジョウバエの翅が形成される過程。無数の光る細胞が、翅の先端側から胴体にむけてゆっくりと移動している。あまりに幻想的なその光景は、夜空にきらめく天の川を想起させた。「ショウジョウバエの翅は、個体発生の基本的なロジックの解明に貢献してきました。私の研究には定量的なデータの収集が欠かせない。学生時代から、実験や数理モデルでショウジョウバエを扱ってきました。遺伝学的ツールもとても充実して

いて解析しやすいし、それから——」。しだいに早口になり、声のトーンは高くなる。生ごみに集まるハエは多くの人にとっては不快な生物かもしれないが、杉村准教授にとっては自身の研究を支える特別な存在だ。実験生物という枠をこえて、どこか愛情すら感じさせる語りからは、



ショウジョウバエ上皮翅のライブイメージング画像  
さなぎ期の翅。細胞接着分子のE-カドヘリンが蛍光で標識されることで細胞の動きが観察できる。胴体側(左側)から引っ張る力が働き、その応答として細胞の集団が右から左へ流れる。

研究にうちこむ純真な姿勢が垣間見られる。そのルーツはどこにあるのか。

### 人生の転機は理科の実験

幼いころから本の虫だった杉村准教授。関心の幅は広く、宇宙、サイエンス、恐竜、児童文学など、興味のおもむくままに時間を忘れて何冊も読み漁った。周囲の女の子が関心を寄せるおもちゃや人形には目もくれず、クリスマスには児童文学の本を両親にねだったことも。想像力の翼を広げて、物語のなかを探検した。「将来は世界を表現する仕事、たとえば作家や映画監督になりたいと思ったこともあります。でも、子どもながらにそんな才能はないと自覚していました」。

転機は中学校での理科の実験。ボールを転がす実験や振り子をゆらす実験など、単純な実験でも夢中になった。「女子4人グループで実験するのですが、ほかの3人は興味がなくてやりたがらない(笑)。わくわくしながら、1人で黙々と実験しました。『これなら私にもできるかも!』と思ったのです」。

当時、興味をそそられたのは、物理と化学。数式で明快に解ける物理や化学とは異なり、曖昧模糊としたイメージの生物はおもしろさがまったく理解できなかった。「偶然にも高校1年生の夏休みに、分子生物学の始まりに関する解説本を読んで、目から鱗が落ちました。生物の動きはここまで論理的に説明できるものだったのかと。印象は180度変

わり、『生物を物理の視点で研究したい』という気持ちが湧きおこりました」。

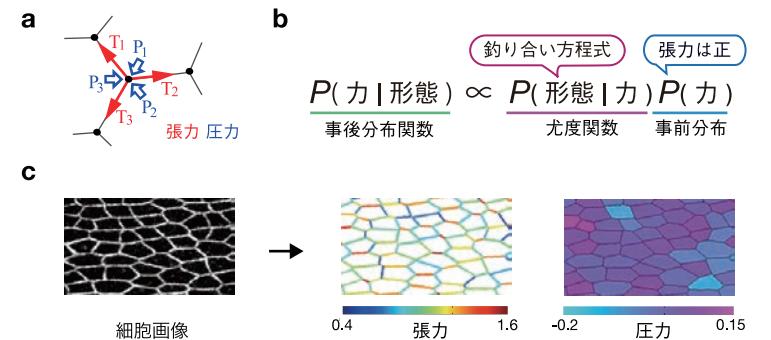
### 革新的な定量法を開発

生物と物理を統合するメカノバイロジリーに取り組んだのは、それから約10年後、理化学研究所の研究員時代。「大学院では、ライブイメージングや分子遺伝学を取り入れ、樹状突起が形成されるメカニズムを解析しました。学位をとる直前に、これまでに見つけた実験的な知見を取り込んで、樹状突起形成の数理モデルづくりに挑戦してみたのです。それには、諸分野の意見を取り入れ

る必要がありました。いまの共同研究者をはじめ、多くの人たちとの出会いを機に、個体発生の過程に『力』が重要な役割を果たしていることに気がついたのです。当時、生体組織内の力学的なメカニズムの多くは不明のまま、研究はほとんど進展していなかった。生命のしくみを解明したい一心で、真剣に取り組んでみることに。

共同研究者の石原秀至准教授(東京大学)とともに挑んだのは、外部から力を加えずに、個体の細胞たちが受ける力を視覚的に測る方法。細胞どうしが接着する面の張力と細胞の圧力の

### 力のベイズ推定法——視覚情報から力を推定する手法



細胞の力と形の逆問題をベイズ統計学を用いて解くことで、細胞の画像から細胞に働く力の相対値を推定する

- 細胞の結節点に働く力を示した図。Tは細胞接着面の張力、Pは細胞の圧力を示す。
- 力のベイズ推定における「ベイズ統計学」に基づいて導き出した逆問題の定式化。尤度関数と事前分布を掛け合わせて得られる事後分布関数を最大にする力の値を「推定値」として考える。
- 力のベイズ推定法を適用した例。入力画像(ショウジョウバエの蛹化23時間後の翅上皮)から、力の釣り合い方程式を解くことで、細胞接着面の張力と細胞の圧力マップを得られる。

相対値を、統計学を用いて推定する「力のベイズ推定法」を開発した。「かたんに言うと、細胞のかたちを画像で解析して、細胞にかかっている力を推定する技術です。力をかけると、ものの形は変わりますよね。原因と結果の関係を反転させて、形の情報をもとに力の測定を試みたのです。光で細胞に外力を加える光ピンセット法などは、詳細な情報は得られるけれど、調べられる細胞の数はわずか。私たちの方法なら、推定値とはいえ視覚的な情報をもとに2万もの細胞をいっきに測ることができます」。杉村准教授らは物理と生物に、数理統計の思考を統合することでこの手法を可能にした。定量化の手法としては革新的で、生命のしくみを示す「表現」としても斬新なものだった。

### まだまだ深い、生命の謎

理研での研究成果が評価され、2011年4月にiCeMSの一員に。研究者を志

した中学1年生からいまでもずっと、強い探求心を保ち続けている。「『自分にしかできない方法で、自然を表現したい』という思いが私の研究を支えています。表現は個性がにじみ出るものだから、『ほかの人と同じ』なんておもしろくない。化学分野の研究者のようにゼロから新しい材料を創り出すのではなく、自然界にすでにあるものをだれもが理解しやすいかたちで表したいのです」。

生物の謎はまだまだ深い。たとえば、人間の細胞の核に含まれるDNAはひものような形をしていて、それを延ばすと約2メートルにもなる。わずか直径10マ



京都大学総合博物館にて開催された展覧会「思考の肖像」で記念撮影。この作品は、アーティストのマイケル・ウィッテル氏が、杉村准教授が発表した人間の脳内にあるニューロンの成長モデルを参考にしてドローイングしたもの。

イクロメートルほどの核のなかに、人間の身長と同じくらいのDNAがおさまっているのだ。しかも、クローゼットに押しこむように乱雑に詰めこまれているのではなく、筋細胞や神経細胞などの細胞ごとに収納方法が異なるという。「『それっていったいどうなっているの?』と思いませんか。生物は、こんな基礎的なしくみでさえ解明できていないのです。生物学や物理学だけでなく、いろんな分野の知見や発想を連動させて突き詰めれば、いずれは生きている物質と生きていない物質の違いがわかるはず。生命のしくみを、私オリジナルの斬新な視点で表現して、みんなを『あっ!』と驚かせたい」。

フットサル場で大学院生からのサッカー仲間とプレイ。小学1年生からはじめたサッカーはいまも心のやすらぎ。忙しい時期でも2か月に一回は汗を流し、研究への糧としている。「好きなポジションはボランチ。視野を広くもち、頭で考えるプレーがおもしろいです。私にとっては研究と同じくらい、サッカーはかけがえのない存在。サッカー命です!」。



## アイセムスの一翼



外国人研究者支援室  
有本和美さん

英語を公用語とするiCeMSでは、研究者の約2割を外国人が占める。しかし、一歩建物の外に出るとそこは異国の地。はじめて来日する外国人は、文化の違いや言語の壁に直面し、とまどうこともしばしば。最先端の研究ができる場を与えられたとしても、生活環境が整っていないければ研究には集中できない。外国人研究者が安心して着任し、研究に専念できる環境を整えることは、iCeMSの欠かせない仕事のひとつ。その役割を担う「外国人研究者支援室」では、京大内で少しずつ波及しつつある先進的な取り組みを展開している。在室7年めの有本和美さんに話を伺った

### 仕事内容

#### 在留資格取得のための支援

- ・ビザ取得のための在留資格認定証明書交付代理申請
  - ・在留資格の更新、変更手続き
- 日本で働き、生活するには入国前にあらかじめ在留資格を取得しておく必要がある。もともと肝となる仕事

#### 住まい探し

- ・大学宿泊施設の紹介
  - ・外国語に対応可能な不動産業者の情報提供
- 住宅情報を提供し、外国人研究者の住まい探しをサポートする

#### 就労に関する手続きのサポート

- ・大学の受け入れの際に必要な書類の確認
- ・銀行口座開設のサポート
- ・住民登録のサポート

#### 生活のサポート

- ・英語の通じる病院紹介
  - ・子どもの保育・学校に関する情報提供、手続き
  - ・携帯電話・クレジットカードの情報提供や手続き
  - ・日本語教室の案内
  - ・出産にともなう行政上の手続きなど
- 上記に限らず、生活全般に関する相談に対応し、状況に応じて同行する



### 対応の幅は無制限



**有本** ● 外国人研究者にとって、最初の関門は在留資格の取得です。審査にむけて各部署との調整をした上で、念入りに事前準備を進めています。そうした行政上の手続きとはべつに、外国人研究者からの依頼や相談に対応することも大切な仕事です。相談の内容は生活全般にわたりますから、仕事の範囲は一言では言い表せないほど広いんです。予想だにできなかった相談を受けることもあります。例えば、小学生のお子さんのいる外国人研究者から、「ギョウチュウ検査の方法を教えてください」と訊かれたこ

とがあります。その方の母国ではそもそも「ギョウチュウ検査」がなかったので、検査の目的が理解できずに困っておられました。手順を示す画像を見せながら英語で説明しましたが、言葉選びに苦心した記憶があります。(笑) 専門的で複雑な内容は、まずは日本語で私自身がきちんと理解してから、相手が理解しやすいよう配慮しながら英語で伝えていきます。

#### 相談者に真摯にむきあう



**有本** ● 相談にこられる方は不安を感じている方がほとんどですから、「なんでも聞きますよ!」という姿勢でお話を伺

います。ときに行政上の手続の不備など、管轄外の私たちの立場では直接的に解決できない相談を受けることもあります。でも、「わからない」では解決につながりませんから、相談者の気持ちに寄り添い、どこに問題が生じていて、なにをクリアすべきかを明確に示してあげるようにしています。

どの仕事でもそうですが、人と人との関係は信頼や誠意が大事。相手に信頼してもらわないと、こちらのメッセージも伝わりにくいですからね。若手の研究者であれ、すでに地位を確立した研究者であれ、そのスタンスは変わりません。どの方に対してでも、同じ気持ちで対応するようこころがけています。

# iCeMSの動き

## 研究成果

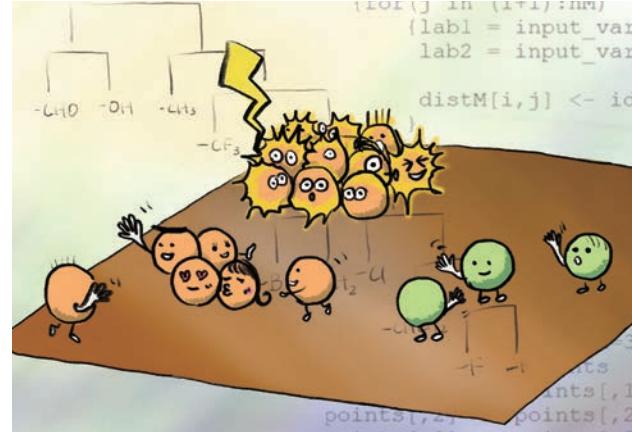
### 「教師なし機械学習」を用いて、 ナノ材料開発に必要なガイドラインの作成に成功

ダニエル・バックウッド講師らの研究グループは、数理学、理論化学、材料科学の知見を機械学習に活用し、基板上的分子を望み通りに集合させるためのガイドラインの作成に成功しました。

この機械学習は、分子の化学的な特徴とその分子の集合過程がどのように関係しているのかを学習して、その結果を図式的にまとめるものです。その図を解析することでガイドラインを導きました。これにより、例えば、電気配線として利用可能な直線状の超分子構造を形成するさいに、どの分子を用いればよいのかを予測できました。

機械学習には「教師あり」学習と「教師なし」学習の二通りがあり、この研究で作成したガイドラインは正解と不正解のデータを事前に学習しなくても、データ群から傾向を判断できる「教師なし機械学習」の方法によって予測できるという点で意義があります。

この研究成果は、微小なデバイスの開発に必要な部品の形成に貢献し、ナノエレクトロニクス開発の加速につながることを期待できます。将来的にロボットや柔らかいディスプレイの開発、さらには超低消費電力デバイスの実現に寄与するかもしれません。



分子は基板上で互いに引き合いながら集合する。(イラスト：高宮泉水)

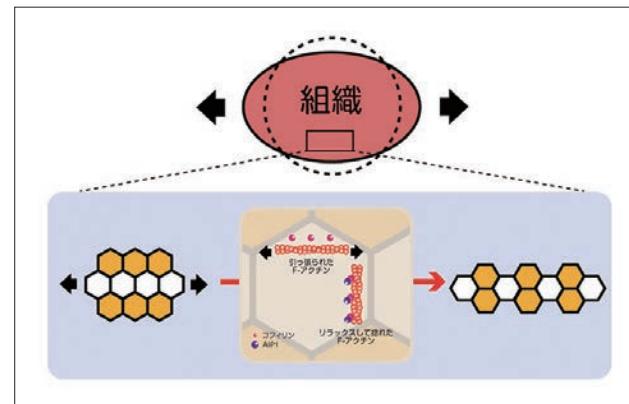
Daniel M Packwood, Taro Hitosugi (2018). Materials informatics for self-assembly of functionalized organic precursors on metal surfaces. *Nature Communications* 9, 2469

### 個体発生過程における 新しい力感知・力抵抗メカニズムを発見

杉村薫特定拠点准教授らの研究グループは、個体発生の過程における、新しい力感知と、力抵抗のメカニズムを発見しました。

個体発生の過程では、細胞がお互いの位置関係を変える「細胞配置換え」が起こっています。最近の研究から、ショウジョウバエ翅上皮などで組織引張り応力が細胞配置換えの方向を決めることがわかってきました。しかし、細胞が組織から受ける力の強さや方向性を感知するしくみ(力感知)や、細胞が組織引張り応力に壊されることなく配置を変えるしくみ(力抵抗)は謎のままです。

研究グループは、細胞骨格を構成するアクチンに結合するタンパク質であるAIP1 (Actin interacting protein 1) とコフィリンが翅上皮の細胞配置換えにおける力感知と力抵抗を担うことを発見しました。AIP1はコフィリンを介して組織引張り応力を感知して、特定方向の細胞接着面に局在します。さらに、AIP1とコフィリンは、アクチン細胞骨格や細胞間接着の再編成を調節して、組織引張り応力と直交する向きの細胞間接着面において機械的な負荷に対する強度を与えることで、細胞が正しい向きに並びかえられることがあきらかになりました。



組織にかかる引張り力を細胞が感知すると、細胞の配置換えが起こる。AIP1とコフィリンが細胞間接着の安定性を維持し、細胞配置換えを促進する。

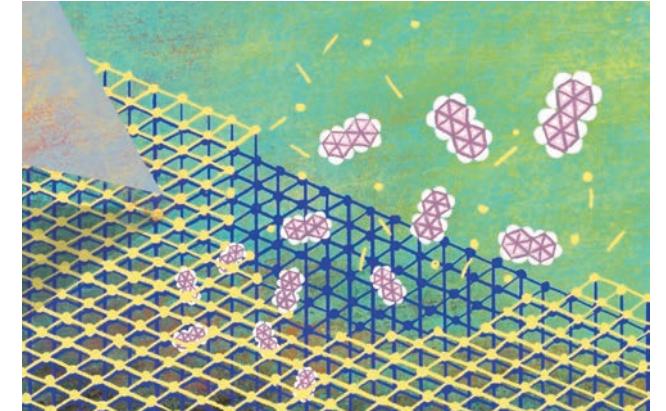
Keisuke Ikawa, Kaoru Sugimura (2018). AIP1 and cofilin ensure a resistance to tissue tension and promote directional cell rearrangement. *Nature Communications* 9, 3295

### 多孔性結晶の表面の細やかな変化を 原子間力顕微鏡でリアルタイム観察することに成功

北川進拠点長らの研究グループは、原子間力顕微鏡で直接結晶の表面を観察することで、多孔性配位高分子(PCP)とよばれる多孔性結晶の表面が外環境に存在する分子を認識して柔軟に変形していることを、世界で最初にあきらかにしました。

この表面は、ある分子を認識すると正方形の格子構造から菱形へと変形します。分子の濃度が一定以上になると構造を柔軟に変化させる多孔性結晶の存在は知られていましたが、その表面がどのようにふるまっているのかは謎のままです。

本研究により、多孔性結晶の表面の変形はじつは結晶全体よりも低濃度で生じていることがわかりました。結晶内部よりも結晶表面はより敏感に反応していることを意味します。この現象を利用すれば、微量な物質を検知する高感度センサーや、ナノレベルで物質を選り分ける分離膜など、幅広いナノテクノロジーへの応用につながります。



柔軟に形を変えるPCPの表面が観察された。(イラスト：高宮泉水)

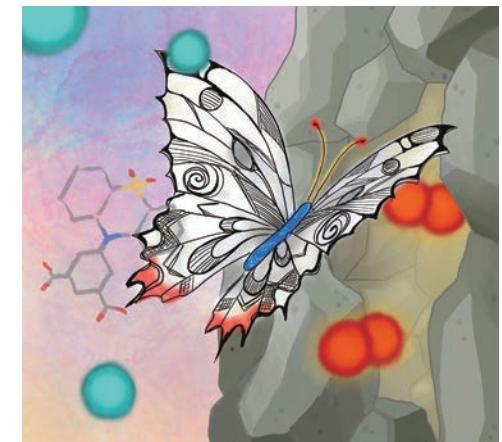
Nobuhiko Hosono, Aya Terashima, Shinpei Kusaka, Ryotaro Matsuda, Susumu Kitagawa (2019). Highly responsive nature of porous coordination polymer surfaces imaged by in situ atomic force microscopy. *Nature Chemistry* 11(2), 109–116

### 分子のゲートで交通整理 ——ガスの分離・貯蔵材料に新技術

北川進拠点長らの研究グループは、「ゲート(扉)」の役割を担う分子を多孔性材料の細孔に組みこむことにより、ガス分子の分離や貯蔵、徐放などを可能にする新物質を開発しました。

細孔内に組みこまれた分子ゲートは温度によって開閉を制御でき、細孔内を通過するガス分子の流量の調整や、ガスの種類の選別を可能にします。これにより、ガスを効率的に分離したり、貯蔵したりすることができます。研究グループは、この物質を利用し、酸素とアルゴン、エチレンとエタンなどのガスの分離に成功しました。また、同様にガスの放出速度を制御することで、貯蔵したガスをゆっくりと放出させるという徐放機能も実現させました。

この研究成果は、温室効果ガスや空気分離、メタンの貯蔵などのガス分離・貯蔵材料としての利用につながります。また、青果の熟成に重要な植物ホルモンの一つであるエチレンガスの徐放材料など、ガスの放出コントロールが必要とされる広範な産業への応用が期待されます。



蝶型のゲート(扉)分子を多孔性材料に組み込むことで、ガス分子の種類によって選択的に吸着・貯蔵することができる。(イラスト：高宮泉水)

Cheng Gu, Nobuhiko Hosono, Jia-Jia Zheng, Yohei Sato, Shinpei Kusaka, Shigeyoshi Sakaki, Susumu Kitagawa (2019). Design and control of gas diffusion process in a nanoporous soft crystal. *Science* 363(6425), 387–391

## フランスCNRSと国際共同研究室「スモラボ」を開設

iCeMSは、フランス国立科学研究センター（CNRS）などとともに共同研究室「スモラボ(Small Molecule Lab: LIA-Smolab)」を設立しました。この共同ラボは、ガスを取り込める無数の小さな穴が空いた材料「多孔性配位高分子(PCP)」の開発・応用を進めることを目的としています。調印式は2018年10月9日に行われ、北川拠点長らが出席しました。PCPの開発がさらに発展するとともに、京都大学とフランスの研究機関との交流がより深まることが期待されます。



## 栄誉

- 影山龍一郎副拠点長が紫綬褒章を受章(2018/11/4)
- 北川進拠点長が高被引用論文著者に(11/28)
- 田中耕一郎教授が仁科記念賞を受賞(12/6)
- 深澤愛子教授がLectureship Award MBLA 2018を受賞(2019/2/1)
- 陰山洋連携PIが井上学術賞を受賞(2/4)
- 北川進拠点長がフランス化学会グランプリを受賞(2/13)

## iCeMSキャラバンを沖縄の高校で開催

iCeMSの研究者が高校を訪問し、アクティブラーニング型の体験授業を行う「iCeMSキャラバン」を、2019年2月16日に沖縄県立球陽高等学校で開催しました。高校生は講義を通して得た知識をグループごとに整理・議論し合い、最後にプレゼンをしました。今回のキャラバンでは、高校2年生が参加するメインルームに加えて、別室を中継でつなぐミラールームも設置。同校の学生らのほか、保護者や教員たちも別室で観覧し、総勢120名をこえる盛況となりました。



## 活動

- サイエンスフェスティバル開催(2018/11/9)
- 国際シンポジウム「物理学の進展と医学応用」を開催(11/15~16)
- インスタグラム開始!(12/21)
- WPIサイエンスシンポジウム、科学三昧にてブース出展(12/26~27)
- AAAS年次総会でWPIブースを出展(2019/2/14~17)

## iCeMS基金へのご支援のお願い

iCeMS(アイセムス)では、国内外から集まった研究者たちが昼夜を問わず研究に打ち込んでいます。研究の成果は応用研究につながり、不治の病に苦しむ人の命を救ったり、100年後の地球環境の改善に役立ったりするかもしれません。いっぽうで、すぐには人びとに理解されず「価値のないもの」と見なされるかもしれません。私たちの挑戦の先に広がる景色は、まったく予想ができません。しかし、科学を着実に進歩させる研究だと確信しています。

世界としのぎを削る分野で、iCeMSの研究者たちが歩みを止めずに活動を続けるには、安定した財政基盤の構築が不可欠です。iCeMSの活動と精神を何卒ご理解いただき、iCeMS基金を通してご支援を賜りますようお願い申し上げます。

## お問い合わせ先

京都大学 物質—細胞統合システム拠点(iCeMS=アイセムス) 研究支援部門  
Tel: 075-753-9749 メール: [innovpe@mail2.adm.kyoto-u.ac.jp](mailto:innovpe@mail2.adm.kyoto-u.ac.jp)  
WEBフォーム: [u.kyoto-u.jp/form](http://u.kyoto-u.jp/form)



## 編集後記

本号の特集のテーマは「メカノバイオロジー」。これまで専門外の方に理解いただけるよう編集に時間を割きましたが、今回も思い切って難しいテーマを選んでみました。予想どおり難解な研究のオンパレードで四苦八苦……。しかし、本誌のよさは、研究者のみなさんが積極的に企画に加わってくれることだと思います。研究者が体を張ってくれたおかげで完成した本号を、読者のみなさんにぶじにお届けすることができて、いまはホッとしています。

また、本号から新企画「アイセムスの一翼」が始まりました。アイセムスでは、世界最高の研究環境をめざし、研究者だけでなくさまざまな立場の方が働いています。どんな仕事をどのような方が担っているのか、人柄もふくめてご紹介していきたいと思います。ぜひ、ご感想をお寄せください。

(遠山真理)

iCeMS  
Our World, Your Future

Vol.7  
2019 March

制作 京都大学 高等研究院 アイセムス(物質—細胞統合システム拠点)  
研究支援部門/パブリックエンゲージメントユニット 遠山真理・高宮泉水・本間貴之  
〒606-8501 京都市左京区吉田牛ノ宮町 tel:075-753-9753  
メール: [info@icems.kyoto-u.ac.jp](mailto:info@icems.kyoto-u.ac.jp) ホームページ: <http://www.icems.kyoto-u.ac.jp>  
Facebook: @Kyoto.Univ.iCeMS Twitter: @iCeMS\_KU Instagram: @iCeMS\_KU  
制作協力 京都通信社 デザイン 中曽根デザイン(中村美喜子)

