

研究最前線「エネルギー移動の単分子レベル計測に成功」より

研究最前線 ⑫

匂いに対する神経活動と行動を 数理モデルでつなぐ

研究最前線 ⑯

エネルギー移動の 単分子レベル計測に成功

エネルギー変換デバイスの性能を飛躍的に向上させる

記念史料室から ⑩

理研で活躍した女性科学者のパイオニアたち (前編)

FACE ⑫

究極のドラッグデリバリーシステムを目指す研究者

TOPICS ⑬

- ・企画展「理化学研究所百年」開催のご案内
お弁当箱から二ホニウムまで
- ・「科学道100冊フェア」開催中!
- ・「nano tech 2017 第16回 国際ナノテクノロジー
総展・技術会議」出展のお知らせ
- ・革新知能統合研究センター 新研究室主宰者の紹介

原酒 ⑯

私の花の楽しみ方

動物は、餌など好きな匂いがすれば近づき、敵など嫌いな匂いがすれば逃げる。匂いの情報を取り入れ、正しく認識して、適切な行動を取ることは、生存を左右する重要な課題である。では、匂いは脳の中でどのように認識され、好き嫌いが決められ、行動が引き起こされるのだろうか。脳科学総合研究センター（BSI）知覚神経回路機構研究チームの風間北斗チームリーダー（TL）は、その大きな謎の解明に挑んでいる。そして、匂いをかいだときの神経活動から行動を予測できる数理モデルの作成に世界で初めて成功した。そこまでの道のり、そして、これからを紹介しよう。

匂いに対する神経活動と行動を数理モデルでつなぐ

■ 匂いを感じる脳を解く

「私たちは常に外界から情報を得ています。感覚器官が受け取った情報が正しく処理され、適切な行動ができるかどうかは生死にも関わる重要な問題ですが、そのメカニズムには分かっていない部分がたくさんあります。それを明らかにしようというのが、知覚神経回路機構研究チームの大きな目標です」と風間TL。

現在の主なターゲットは嗅覚だ。「嗅覚は進化的に最も古い感覚で、脊椎動物だけでなく昆虫にもあります。にもかかわらず、視覚や聴覚、触覚などと比べて研究が遅れています。分からないことが多い。だからこそ面白いと思ったのです」
動物はどのように匂いの情報を受け取り、処理し、行動しているのだろうか。匂いの正体は化学物質である。匂い

分子は、哺乳類では鼻腔の奥に並んでいる嗅細胞という神経細胞の表面にある、特定の嗅覚受容体に結合する（図2）。嗅細胞は、それぞれ1種類の嗅覚受容体だけを発現している。嗅覚受容体に匂い分子が結合すると嗅細胞が活性化し、その情報は軸索を通して嗅球に伝えられる。嗅球は左右に1対あり、糸が丸くまとまったような糸球体がたくさん並

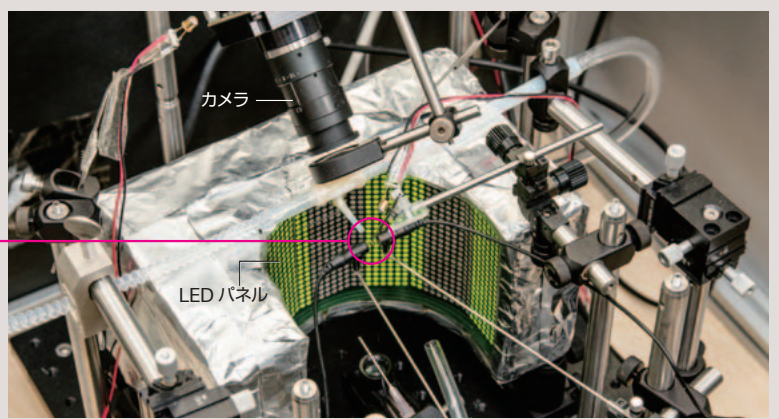
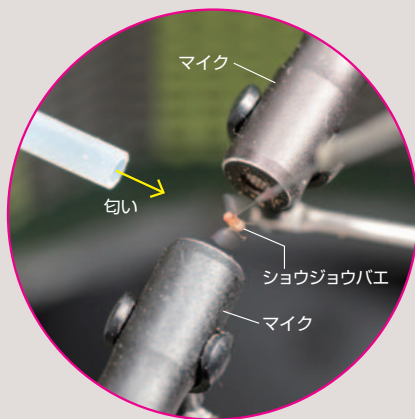
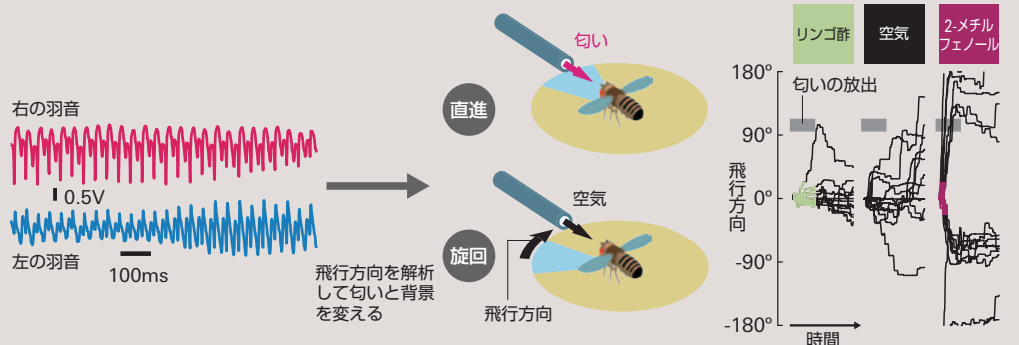


図1 仮想空間におけるショウジョウバエの匂い応答

ショウジョウバエの背中をピンで固定し、匂いを放出する。羽ばたきの音の大きさを左右のマイクで捉え、飛行方向を解析する。それに応じて匂いとLEDの表示を変える。リンゴ酢の匂いを放出すると真っすぐ飛行し、消毒液に使う2-メチルフェノールの匂いを放出すると逃げた。グラフはそれぞれ15回ずつ与えたときの飛行軌跡で、空気は対照実験。

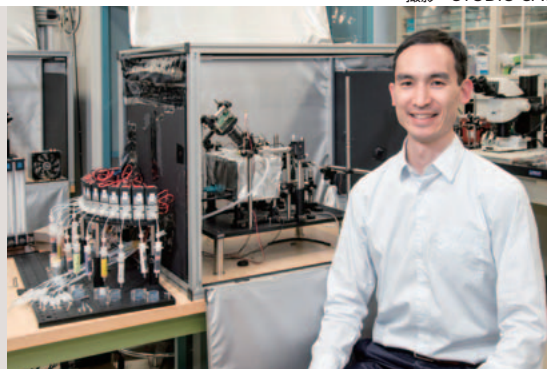


撮影：STUDIO CAC

風間北斗 (かざま・ほくと)

脳科学総合研究センター
知覚神経回路機構研究チーム
チームリーダー

1978年、米国ミシガン州生まれ。博士(理学)。東京大学大学院理学系研究科物理学専攻修了。東京大学大学院理学系研究科博士研究員、米国ハーバード大学大学院医学系研究科神経生物学科博士研究員などを経て、2010年より現職。



んでいて、同じ種類の嗅覚受容体を発現している嗅細胞の軸索は全て同じ糸球体につながるという決まりがある。糸球体には僧帽細胞という神経細胞の樹状突起が伸びていて、嗅細胞からの情報を受け取ると活性化する。そして僧帽細胞の軸索を通して高次嗅覚中枢へ情報が伝えられ、そこで処理され、適切な行動が選択される。これが一連の流れだ。

匂いには複数の匂い分子が含まれていることも多く、また匂い分子は数種類の嗅覚受容体と結合するため、ある匂いがかぐと複数の嗅細胞が活性化され、それらとつながっている複数の糸球体が活性化される。「匂いが変われば活性化される糸球体の組み合わせが変わることは、これまでの研究から明らかになっています。しかし、脳がその糸球体の活動パターンをどのように解釈して匂いを判断し、適切な行動を引き起こすのか、そのメカニズムは分かっています」

■ 小さくシンプルな脳から原理を学ぶ

「私は、その問題を解明するためにショウジョウバエを使うことにしました」と風間TL。なぜショウジョウバエなのか。「将来的には自分の脳の中で何が起きているのかを理解したいのですが、それは簡単ではありません。そこで、物理学の手法に倣ったのです」

風間TLは大学の学部時代は物理学を専攻していた。脳神経科学に専攻を変えたのは大学院からだ。「物理学では、問題をシンプルにして普遍的な原理を学んだ上で、より複雑なシステムを理解するという戦略が取られます。私は、そう

いうアプローチが好きです。そこで、ヒトの脳よりシンプルなショウジョウバエの脳を対象にしたのです」

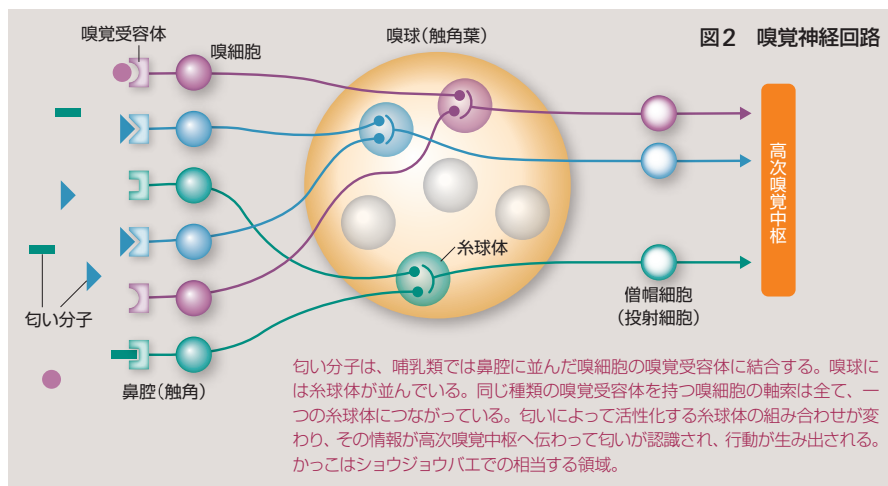
ショウジョウバエは、視覚、聴覚、嗅覚、触覚、味覚、平衡感覚など、ヒトと同じ知覚を備えている。にもかかわらず、神経細胞の数が少ない。ヒトの神経細胞は1000億個、嗅覚受容体は400種類、糸球体は5,500個。対してショウジョウバエの神経細胞は10万個、嗅覚受容体は60種類、糸球体は50個だ。モデル動物として長い歴史があり、特定の遺伝子を欠損させたり過剰に発現させたりといった遺伝学的な実験が容易なことも、ショウジョウバエを使う利点である。

■ 全ての糸球体の活動を観察したい

動物は、餌の匂いは快いと感じて近づき、敵の匂いは不快と感じて逃げる。風間TLは、匂いがかがせたときの糸球体の活動パターンと行動を観察し、二つを結び付けて解析することで、脳が匂いの好き嫌いを解釈するメカニズム

に迫ろうと考えた。「誰もやったことのない実験です。実験装置を自作するところから始めなければならず、苦労しました。2010年に研究チームを立ち上げ、一連の実験ができるまでに3年かかりました」

ショウジョウバエでは触角の付け根にある触角葉という脳領域が、哺乳類の嗅球に相当する。触角葉は左右に1対あり、それぞれ50個の糸球体がある。全ての糸球体の、全ての神経細胞の活動を捉えたい。しかし、従来からある電極を用いる手法では、限られた数の神経細胞の活動しか計測できない。そこで、二光子励起レーザー顕微鏡を用いたイメージングを行うことにした。神経細胞が活動すると細胞内のカルシウムイオン濃度が上昇する。カルシウムイオン濃度に応じて蛍光の明るさが変化する蛍光タンパク質をあらかじめ哺乳類の僧帽細胞に相当する投射細胞に発現させておき、二光子励起レーザー顕微鏡で観察すると、糸球体の活動を可視化できる。



「二光子励起レーザー顕微鏡を用いたカルシウムイメージングは最近よく使われている技術ですが、触角葉にある50個の糸球体全てを一度に観察することは難しく、顕微鏡の改良などに苦心しました。現在は、37個の糸球体の活動を観察することができるようになってきました」。得られた画像から自動的に糸球体1個1個を認識し、活動の状態を数値化するプログラムも開発した。

嗅覚の研究ならではの難しさもある。視覚や聴覚であれば、モニターに画像を示したり音を聞かせたり、毎回同じ刺激を与えることができる。しかし匂いは揮発性で、濃度を一定に保つことも難しい。そういった点も嗅覚研究が遅れていた理由の一つだ。「たくさんの匂いを任意の順番、タイミングで再現性よく与えることができる匂い刺激装置の開発だけでも納得いくまでに時間がかかりました」

■ 匂い応答を観察できる仮想空間

与えた匂いを好きと判断したのか嫌いだと判断したのかは、ショウジョウバエが匂いに対して近づくか逃げるかで評価できる。試行錯誤の末にたどり着いたのが、仮想空間を飛行させる方法である(図1)。

ショウジョウバエは背中をピンで固定しておく。飛び回ることにはできないが、羽ばたくことはできる状態だ。匂い刺激装置から匂いを放出し、ショウジョウバエの羽ばたきの音を左右に設置したマイクで捉える。左右の音の大きさの違いから、真っすぐ飛ぼうとしているのか、旋回しようとしているのかが分かる。真っ

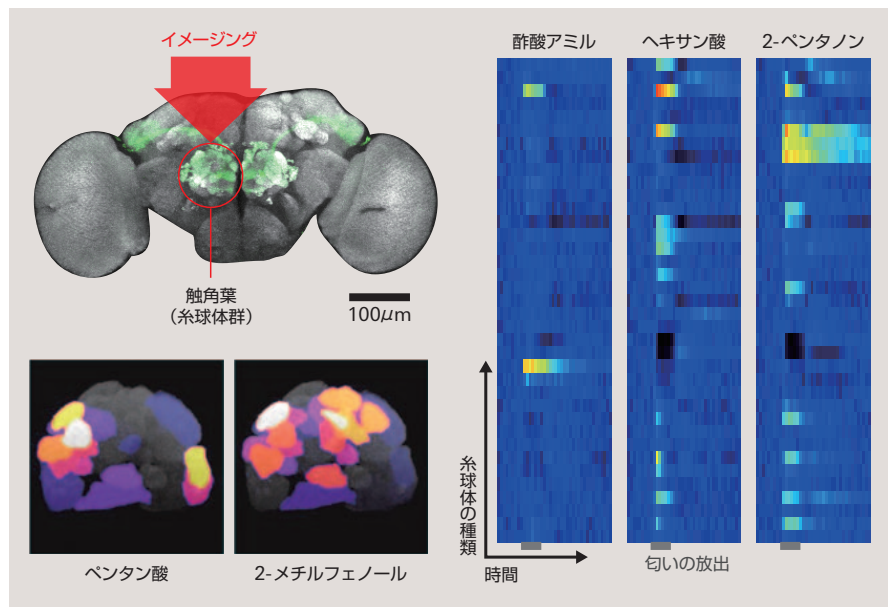


図3 ショウジョウバエの糸球体の匂い応答イメージング

左上の図はショウジョウバエの脳を前から見た様子。赤い円が触角葉で、左右50個ずつの糸球体がある。そのうち37個の糸球体それぞれに属する神経細胞が活性化したときに発する蛍光シグナル(緑)を捉えた。画像処理した結果が左下の図で、匂いによって活性化する糸球体の組み合わせが変わることが分かる。右は3種類の匂いに対する37個の糸球体の応答の時間変化。青色は定常的な活動レベル、寒色は活動の減少、暖色は活動の上昇を表す。

すぐ飛んでいけば匂いに近づこうとしているので匂いを出し続け、旋回していれば匂いから逃げようとしているので匂いを止めて空気を放出する。

ショウジョウバエの行動に応じて、正面に設置したLEDパネルの表示も変える。しかし、匂いに対する行動を調べるのであれば、視覚情報は不要ではないか。「一生懸命に旋回しているのに見える景色が変わらなると、ショウジョウバエは匂いから逃げることを諦めてしまうのです。LEDパネルの景色を変えると長く飛び続けてくれることが分かり、採用しました。この仮想空間には、さまざまな工夫が詰め込んであります」

羽ばたきの音からショウジョウバエの行動を計算し、5ミリ秒ごとに匂いと景色を変えられることができる制御プログラムも作成。装置の準備が整い、いよいよ実験に着手した。

■ 神経活動から行動を解読する 数理モデルを作成

仮想空間を用いて84種類の匂いに対するショウジョウバエの行動を観察した。匂いによって、真っすぐ飛び続ける場合と、旋回する場合が見られた(図1)。嫌いな匂いの場合、わずか0.2秒で旋回

して逃げる。また、84種類の匂いに対する37個の糸球体の活動を二光子励起レーザー顕微鏡で観察(図3)。さまざまな糸球体の活動パターンが見られた。

「私たちが本当にやりたかったのは、この先です」と風間TL。匂いに対する糸球体の活動と行動の関係性を式で表した数理モデルをつくることだ。「これまでは、匂いの好き嫌いは特定の少数の糸球体の活動によって決定されるという仮説が主流でした。でもショウジョウバエの糸球体は50個あり、匂いをかぐと複数の糸球体が活動します。匂いの好き嫌いの決定には、活動する全ての糸球体が貢献しているのではないかと、私は考えていました」

実験データを詳細に解析すると、糸球体には、誘引性の匂いに対して活動するものと、逃避性の匂いに対して活動するものがあることが分かった。割合は、ほぼ同じだ。また、糸球体によって、誘引性あるいは逃避性への貢献度が違うことも分かった。「同じ賛成という意見でも、発言力の強い人と弱い人がいますよね。そんなイメージです」と風間TL。

匂い環境への適応を反映させるために各糸球体の活動を規格化し、重み付

けをした後、全てを足し合わせるという数理モデルを作成(図4)。各糸球体の重み付けの値は、少しずつ変えながら実際の行動に合うように決めていった。この数理モデルを用いると、糸球体の活動パターンから行動を正しく予測することができた。「少数の人だけの意見を聞く、という仮説を覆す結果となりました。発言力に違いはありますが、全員の意見を聞いているのです。多くの糸球体の活動を捉えたからこそ分かったことです」

この数理モデルを用いると、新しい匂いに対する行動も正しく予測できる。また、糸球体の活動を人為的に阻害したり活発にしたりすると、ショウジョウバエの行動は数理モデルの予測どおりに変化することも確かめられた。この数理モデルは、糸球体の活動と行動の相関だけでなく、因果関係も表しているのだ。「神経細胞の活動から匂いに対する行動

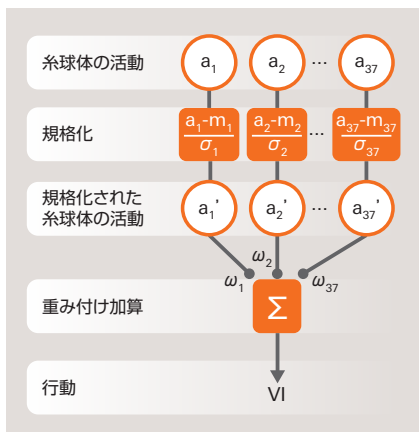


図4 ショウジョウバエの匂いの好き嫌いを解読する数理モデル

糸球体の匂い応答を規格化した後、それぞれの糸球体について誘引もしくは回避に対する貢献度を掛けて、全てを加算することで、匂いの好き嫌いを解読する数理モデルをつかった。この数理モデルは、かいたことがない匂いに対する行動も予測できる。

を予測できる数理モデルは、世界で初めてです。糸球体の活動パターンを脳がどのように解読しているか、それを私たちは理解できたといえるでしょう」

■数理モデルで予言し、現象を発見

「さらに興奮すべき発見がありました」と風間TLは声を弾ませる。この数理モデルから、匂いの相対的な好き嫌いは周りにある別の匂いによって変わり、時には好き嫌いが反転するという予測が導き出された。実験してみると、ショウジョウバエの匂いの好き嫌いは相対的なもので、環境によって変わった。数理モデルの予測どおりだ。

「2016年2月、アインシュタインが予言した重力波の観測に米国の研究グループが成功して大きな話題になりました。このように物理学では、数理モデルからある現象の存在が予言され、それが観測で確認されることがよくあります。生物学は逆で、まず観察によってデータを集め、次に数理モデルをつくっています。今回は、数理モデルから出た予言を実験で確かめることができたのです。物理学的手法を好む私としてはツボにはまり、大変満足感が得られました」

風間TLは「こうした研究ができるのは、私たちの研究チームの特性によるところが大きい」と言う。「理論神経科学や数学、さらには原子核物理学と、研究員のバックグラウンドが多彩なんです。脳を理解するには、生物学だけでなく、実験装置をつくるための工学、操作するためのコンピュータ・エンジニアリング、

得られたデータを定量的に解析するための数学など、さまざまな知見の組み合わせが必要です。それらをうまく融合して研究を進める環境を実際に整えることができています」

研究チームでは、ショウジョウバエを固定せず、非侵襲で特定の神経細胞の活動を計測できる画期的なシステムを開発中だ。「物理学実験で用いられている手法をいくつも組み合わせたものです。その分野の専門家が研究チームにいるからこそ、できることです」

■さまざまな感覚情報の統合を目指す

風間TLは、「脳科学の研究は臨床への応用が期待されていますが、工学に活用できることもあります」と指摘する。ショウジョウバエは少ない神経細胞で、ヒトと同じような情報処理を実現している。そのメカニズムは、少ない素子とエネルギーで効率的に計算できるデバイスの作製に活用できる可能性がある。

今後はどのように研究を進めていこうと考えているのだろうか。「糸球体の先のより深い嗅覚領域での神経回路、さらには嗅覚から運動までをつなぐ神経回路を解き明かしたいですね。また、生物は一つの感覚だけに頼って行動しているわけではありません。ゆくゆくは、視覚や味覚、嗅覚などいろいろな感覚情報がどのように統合されて適切な行動が生まれているのかを明らかにしたいと思っています。そこまで見据えて、知覚神経回路機構研究チームの名前を付けているのです」

(取材・執筆：鈴木志乃/フォトンクリエイト)

太陽電池や有機ELなどのエネルギー変換デバイスでは、エネルギーが分子間を移動してデバイスの特性が現れる。

しかし、そのエネルギー移動を単分子レベルで計測することは、これまで不可能だった。

Kim表面界面科学研究室の金有洙主任研究員たちは、走査型トンネル顕微鏡 (STM) により、単分子の吸収分光に世界で初めて成功。その分光技術を駆使して、エネルギー移動を単分子レベルで計測することにも成功した。「この手法により、分子をどのような配置や方向で並べればエネルギー移動の効率が高くなるか調べることができます」

そう語る金主任研究員たちは、太陽電池や有機ELの研究者たちと共同研究を始めている。

エネルギー移動の単分子レベル計測に成功

エネルギー変換デバイスの性能を飛躍的に向上させる

■ STMで単分子を見る

STMでは、探針と呼ばれる細い針を固体表面から1nm (10億分の1m) ほどの距離に近づけて電圧をかける。するとトンネル電流という特殊な電流が流れる。そのトンネル電流を計測しながら探針で固体表面をスキャンすることで、固体表面を構成する原子を見たり電子状態の分布を地図のように描いたりすることができる。「私たちがSTMで見ているのは、固体表面だけでなく、単独の分子です」と金主任研究員(図1)。

母国・韓国のソウル大学で化学を学んで修士課程を修了した金主任研究員は1996年来日。光触媒の研究で有名な東京大学の藤嶋昭教授(現東京理科大学学長)の研究室で学んで学位を取得後、1999年に理研に入り、川合真紀主任研究員(現分子科学研究所所長)が主宰する表面化学研究室の博士研究員となった。

そこでSTMの技術開発を進めた金主任研究員たちは2002年、単分子の分子振動を引き起こし、化学反応を制御する

ことに成功した。

「金属表面に分子を載せ、探針からトンネル電流を流し、電子を注入します。すると電子のエネルギーで、分子を構成している原子同士の化学結合の距離が伸び縮みします。それが分子振動です。分子振動は分子の種類や、周囲にある原子・分子などの環境によって変わります。分子振動を精密に計測することで、どの分子がどのような環境に置かれているのかを特定することができます。さらに私たちは、異なるエネルギーの電子を

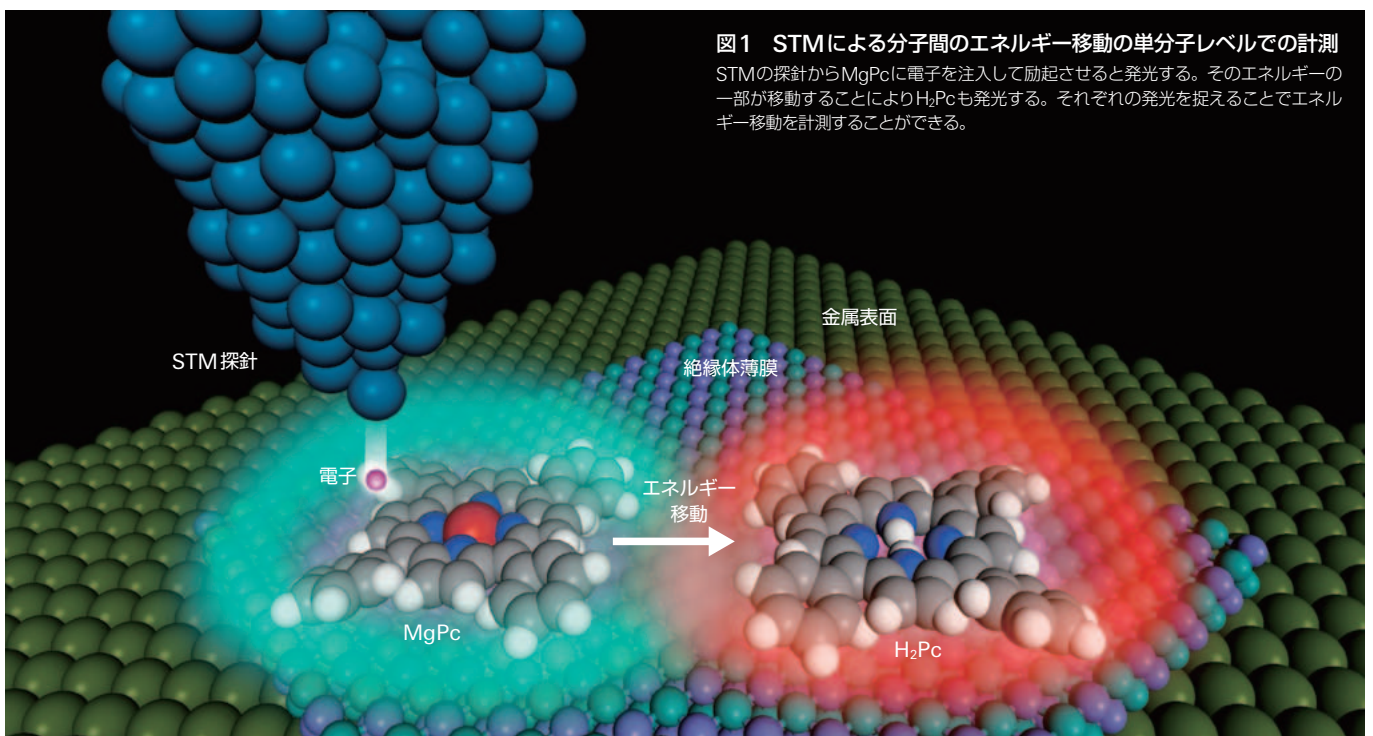


図1 STMによる分子間のエネルギー移動の単分子レベルでの計測
STMの探針からMgPcに電子を注入して励起させると発光する。そのエネルギーの一部が移動することによりH₂Pcも発光する。それぞれの発光を捉えることでエネルギー移動を計測することができる。

金 有洙 (キム・ユウス)

Kim表面界面科学研究室
主任研究員

1968年、韓国・ソウル市生まれ。工学博士。ソウル大学自然科学部化学科卒業。東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。1999年、理研川合表面化学研究室協力研究員。2010年、Kim表面界面科学研究室 准主任研究員。2015年より現職。



分子に注入して、形の違う分子に変化させることにも成功しました」

その後も金 主任研究員たちは、分子を任意の方向へ移動させたり、水分子1個を分解したりするなど、STMによる単分子の実験を進めた。

■ 世界初！ 単分子の吸収分光に成功

金 主任研究員は2010年、Kim表面界面科学研究室を立ち上げた。「そこで私は、STMで光と分子の相互作用を調べる研究を始めました」

分子が“吸収”したり“発光”したりする光の波長を調べることで、分子の性質や電子状態を知ることができる。そのような手法を“分光”という。

分子がエネルギーを受け取ると、分子中の電子はエネルギーが高い励起状態となる。やがて、元の基底状態へ戻るときに発光する。21世紀に入り、米国カリフォルニア大学アーバイン校の研究グループが、STMを用いた単分子の発光分光に成功した。しかしそれは技術的に難しく、ほかの研究グループは成功していなかった。「私たちは、世界で2例目となる単分子の発光分光に挑みました。しかし残念ながら2015年春、中国科学技術大学の研究グループに論文発表で先を越されてしまいました」

なぜ、単分子の発光分光は難しいのか。「それは単分子から出る光の強度が弱いからです。STMを用いた半導体などの固体表面の発光分光については、世界で5カ所以上の研究グループが成功しています。発光の強度を高めるために、固体表面に高いエネルギーを長い時

間与えて励起し続けても、壊れる心配はありません。一方、単分子は簡単に壊れてしまいます。単分子の発光強度を高めるためには、分子が壊れないように特定のエネルギーの電子をピンポイントで注入し続ける必要があります。さらに、単分子からの微弱な光を効率よく検出する工夫も必要です。それが技術的に難しいのです」

探針から電子を分子に注入しても、そのほとんどは、分子を載せている金属表面へ流れ、分子の励起には使われない。「私たちは注入した電子を分子にとどまりやすくするために、金属表面の上に薄い絶縁膜を敷きました。さらに、分子からの光をなるべく近い位置で効

率よく検出できるように装置をデザインしました」

2015年秋、STM発光分光の実験を続けていたKim表面界面科学研究室の今田 裕 協力研究員は、探針と分子の相対的な位置関係によって発光強度が変わることに気付いた。「さらに、探針の位置をいろいろと変えて発光を計測する実験を行うと、分子から少し離れた位置に探針を置いたときに光のスペクトルの一部にへこみが見えました」と金 主任研究員は振り返る。

「最初は、そのへこみの意味が分かりませんでした。私たちの研究室には実験家だけでなく理論家もいます。三輪邦之 訪問研究員と議論しているうちに、それ

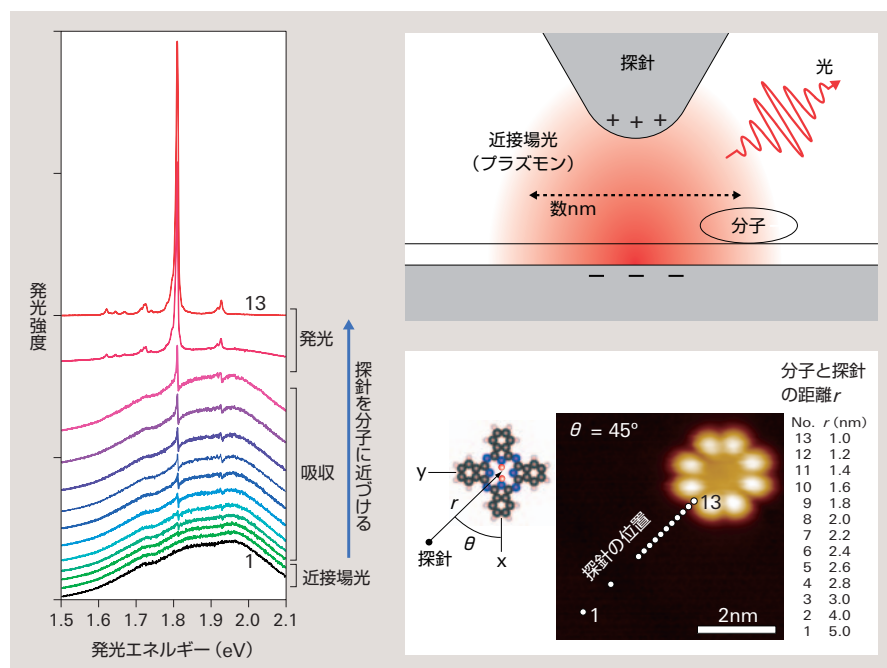


図2 STMによる単分子の吸収・発光分光

探針付近で近接場光が発生し、数nmサイズの光源となる。探針を分子に近づけていくと、分子が特定の波長の光を吸収し、スペクトルに小さなへこみが見れる。さらに近づけると、探針から分子に電子が注入されて発光し、スペクトルに大きな突起が見れる。

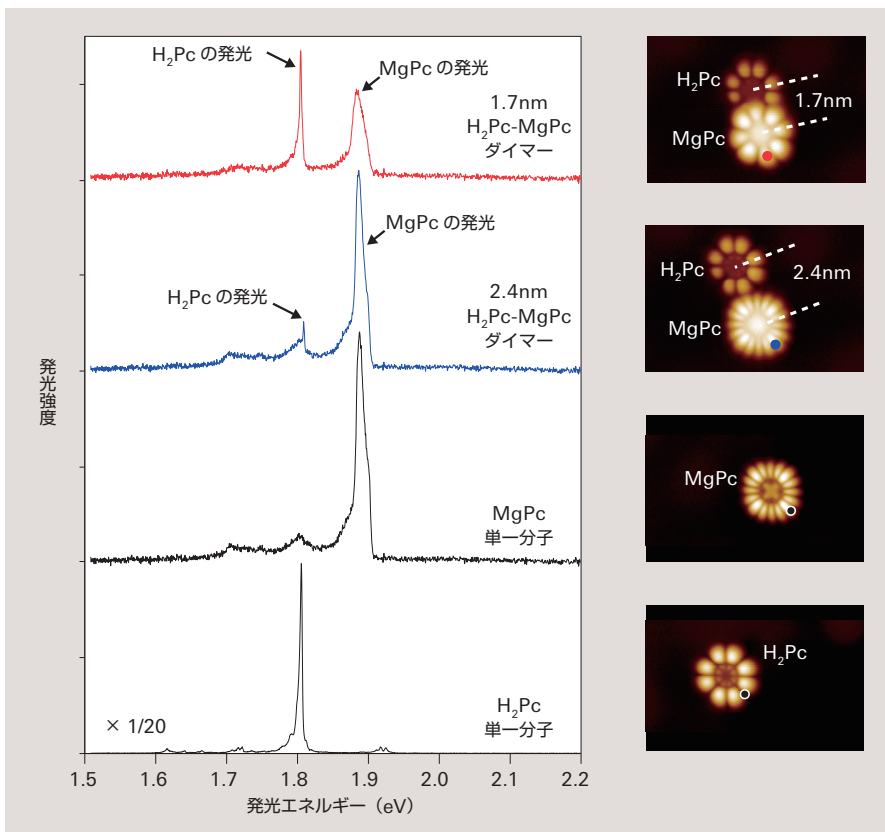


図3 分子間のエネルギー移動の計測データ

STMの探針からMgPcに電子を注入して励起させる。MgPcとH₂Pcの距離を2.4nmから1.7nmに縮めると、MgPcの発光強度は弱く、H₂Pcは強くなった。これはMgPcからH₂Pcへのエネルギー移動の効率が高まったことを示している。

■ 分子の配置や向きで

エネルギー移動の効率が変わる

「私たちが本当にやりたかったのは、分子間のエネルギー移動を単分子レベルで見ることです」と金 主任研究員は語る。

金 主任研究員たちは2016年、単分子の発光分光と吸収分光の技術を駆使して、マグネシウムフタロシアニン (MgPc) とフタロシアニン (H₂Pc) という分子間のエネルギー移動を単分子レベルで計測することに成功、その研究成果を英国の科学雑誌『Nature』に発表した。

STMの探針でMgPcに電子を注入すると、そのエネルギーで励起されて発光する。その光のエネルギーの一部がH₂Pcへ移動すると、H₂Pcも励起され発光する (図1)。

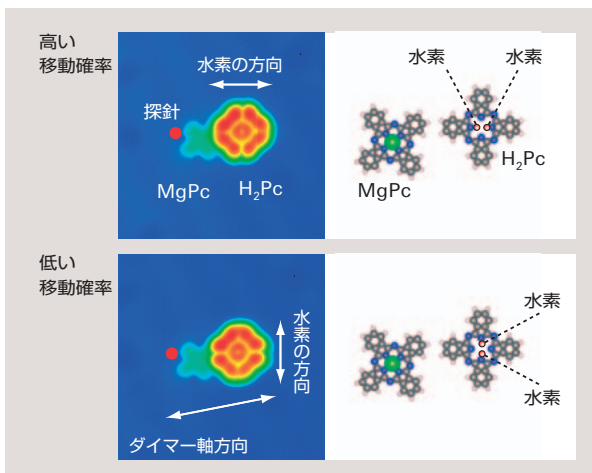
「私たちに、STMで分子を任意の位置に移動させる技術があります。MgPcとH₂Pcの距離を変えて、それぞれの発光を計測しました。分子間の距離を近づけるとMgPcの発光強度は弱くなり、H₂Pcは強くなりました。分子間の距離が短くなることでエネルギー移動の効率が高くなったのです」 (図3)

「さらに私たちは、分子同士の配置や向きによってもエネルギー移動の確率が変わることを、単分子レベルの計測で突き止めました」

H₂Pc内部には2個の水素が並んでいる。それらの水素を結ぶ方向にMgPcが並んでいるとエネルギー移動の確率が高く、直交した方向にMgPcが配置しているとエネルギー移動の確率が低くなっ

図4 分子の配置・向きによるエネルギー移動確率の違い

H₂Pc内の2個の水素が並んだ方向にMgPcがあると、MgPcからH₂Pcへのエネルギー移動の確率が高く、直交した方向にあると確率が低いことが分かった。このような現象を、電子のエネルギー状態が遷移する際に分子内で電子が動く方向を表す“遷移双極子モーメント”の対称性で説明する理論がある。金 主任研究員たちはその理論を、分子内を動く電子軌道の可視化によって実空間で検証することに初めて成功した。



は単分子による光の吸収であることが分かりました」

単分子による光吸収を計測するには、分子程度の数nmサイズの微小な光源が必要である。可視光の波長は数百nmと分子サイズよりはるかに大きいので、そのような可視光源は存在しない。普通の光源では単分子の吸収分光は不可能だ。

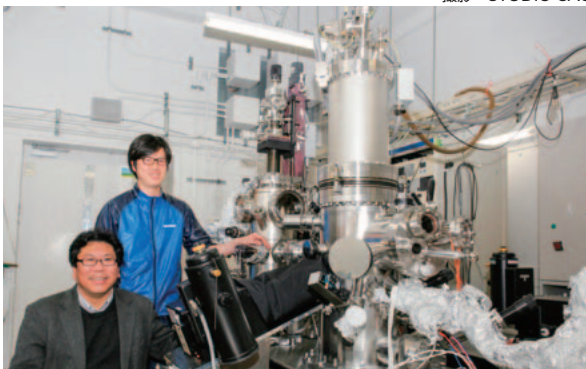
「STMの探針と金属表面の間に電圧をかけると、“近接場光”と呼ばれる特殊な光が出ます。それが数nmサイズの光源となります。探針が分子から遠く離

れた位置では、へこみのない近接場光からの発光スペクトルが見えます。そこから探針を分子へ近づけていくと、近接場光の特定波長の光を分子が吸収するようになり、スペクトルにへこみが現れます。さらに分子の直上まで探針を近づけると、電子が注入されて分子は励起され、強く発光します」 (図2)

金 主任研究員たちは、世界で3例目となる単分子の発光分光に成功するとともに、世界で初めて単分子の吸収分光に成功した。

分子間のエネルギー移動を単分子レベルで計測したSTM装置

金 有洙 主任研究員 (左) と今田 裕 協力研究員



た(図4)。「これは、どの角度から光を当てるかによって、分子のエネルギー吸収の仕方が変わるからです」

■ エネルギー変換素子の開発に貢献

金 主任研究員たちの計測手法は、太陽電池や有機ELなどのエネルギー変換デバイスの性能向上に大きく貢献すると期待されている。

「現在、有機合成の分野が大きく発展しています。例えば、九州大学の安達千波矢教授たちは、電気エネルギーを100%の効率で光に変換する有機EL用の分子を開発しました。しかし、それらの分子で有機ELをつくると変換効率が悪くなってしまうことがあるそうです。それは分子の配置や向きによってエネルギー移動の効率が低くなるからだと考えられます。そこで安達教授から、分子をどのように並べれば効率が高くなるのかSTMで調べてほしいとの依頼を受け、共同研究を進めています」

有機ELとは反対に、光を電気エネルギーに変換する太陽電池でも、有機分子を使う研究が進んでいる。理研創発物性科学研究センターでは、塗るだけで発電できる有機薄膜太陽電池の研究を進めている。その高効率化にも、STMの単分子分光の技術は貢献できるだろう。

「私が博士課程で学んだ光触媒は、光のエネルギーを利用して、水を電気分解して水素をつくったり、有害物質を分解したりするなどの化学反応を促進します。ただし、化学反応が起きる場所にエネルギーがスムーズに移動しないと反

応効率が低くなってしまいます。STMの計測で、どのような分子の配置や向きにすれば、最も効率よく光触媒の反応が進むかが分かるかもしれません」

二酸化炭素と水を原料にして炭水化物と酸素を生み出す植物の光合成では、光エネルギーを利用して高効率で化学反応が進む。「光合成の過程でも分子間のエネルギー移動が重要です」

現在、植物の光合成の仕組みに学び、二酸化炭素を材料にしてエネルギー物質を生み出す人工光合成の研究が盛んに進められている。光合成のエネルギー移動を、STMを使って単分子レベルで計測できれば、人工光合成の研究に大きなヒントを与えることになる。

■ 溶液中の酵素や電極の働きを単分子レベルで計測する

STMによる計測は、大気や溶液の中でも可能だ。タンパク質などの生体分子は水に満たされた細胞で働くので、その機能を調べるには溶液中で単分子を計測する必要がある。「私たちの研究室の横田泰之 研究員は、溶液中で起きる固体表面の電気化学反応をSTMで計測する実験を行っています。その技術と単分子の分子振動や近接場分光の計測技術を組み合わせたい新しい装置を開発中です。その装置を使って、酵素が促進する酸化還元反応や、さらには、光合成で働く分子のエネルギー移動の計測にも挑戦していきたいと思います」

溶液中での単分子の計測は、電池の研究でも重要だ。「リチウムイオン電池の電極では、電解質との間で酸化還元

関連情報

- 2016年10月4日プレスリリース
分子間エネルギー移動の単分子レベル計測に成功
- 「理研ニュース」2011年1月号「研究最前線」
ナノの世界の本質に迫り、応用へつなげる

反応が起きます。それを原子・分子レベルで計測することで、電池の性能を向上させることができると期待されています。私たちは自動車メーカーとの共同研究により、そのための装置開発も進めています」

■ STM + 近接場光で時間分解能を高める

「STMによる単分子の分光技術の弱点は時間分解能が低いことです」と金主任研究員は指摘する。「それは探針から電子を超高速で分子に注入して、分子を瞬間的に励起させる技術が存在していないからです。光ならば分子を瞬間的に励起させることができます」

近接場光の第一人者である大阪大学の河田 聡 教授は、2015年まで理研光量子工学研究領域で近接場ナノフォトリクス研究チームを率いていた。「そのチームで主導的に研究を進めた早澤紀彦 専任研究員が私たちの研究室に移籍してきました。近接場光の技術は、STMによる単分子の分光技術ととても相性が良いのです。フェムト(1000兆分の1)秒レーザーという極めて短い時間の光とSTM探針で発生する近接場光を融合させて、分子を瞬間的に励起させる装置の開発も進める計画です。それにより、フェムト秒レベルの時間分解能で単分子の分光を目指します」

金 主任研究員は、STMで個々の分子を見る技術を発展させて基礎研究に貢献するとともに、さまざまな応用分野との連携を深めていくつもりだ。

(取材・執筆：立山 晃/フォトンクリエイト)

理研で活躍した女性科学者の パイオニアたち (前編)

2016年4月現在、理研における研究系職員（チームリーダー、研究員、テクニカルスタッフなど）は約2,900人、そのうち女性は約1,000人で約35%を占めています。女性の研究管理職は32人（約10%）です。

理研が設立された1917年、女性の研究者（研究員、助手、嘱託、研究生など）は1人もいませんでした。女性の研究者が初めて採用されたのは創立の5年後、1922年です。この年に主任研究員制度が発足しましたが、女性主任研究員の登場は1953年まで待たなければなりません。

女性研究者たちはいかにして科学の道へと足を踏み出し、歩を進めてきたのでしょうか。理研で活躍した女性科学者のパイオニアたちを2回のシリーズで紹介します。

加藤セチ——理研初の女性研究者・女性主任研究員

理研初の女性研究者は、加藤セチです。1922年、和田（猪三郎）研究室で研究生として化学分析の研究を始めました。

加藤は1893年、山形県で生まれました。生家は大地主でしたが、高等女学校3年生のときに破産。学問で自立しようと山形県女子師範学校に入り直し、1911年に卒業すると庄内で教職に就きました。師範学校は、卒業後に教職に就くことが義務化されている代わりに学費が要らないため、優秀でも貧しい家庭の子に教育の機会を与える役割も担っていました。向学心が強かった加藤は1914年、当時の女子の最高学府である東京女子高等師範学校の理科を受験し、合格。卒業後は、札幌の高等女学校の教員になりました。北海道の学校を選んだのは給料が一番高かったから、とのこと。この選択が加藤に幸運をもたらしました。

加藤が北海道に行った1918年、札幌農学校を前身とする東



加藤セチが女性初の主任研究員になったときのお祝いの会。1953年。岡嶋正枝は、黒田チカと共にタマネギの皮の研究を行い、後にお茶の水女子大学教授となる。和田 水は、黒田が化学構造を決定した紅花の色素カーサミンの化学的抽出法を開発した。道 喜美代は丹下ウメと共にビタミンB群の研究を行い、後に日本女子大学学長となった。

北帝国大学農科大学が北海道帝国大学に移管され、総長の佐藤昌介が女子にも門戸を開くと発言。それに先立つ1913年、東北帝国大学理科大学が帝国大学として初めて女子の入学を許可しています。加藤は全科目を履修できる選科生として入学を許可され、北海道帝国大学初の女子学生となりました。

加藤は女学校の教壇に立ちながら3年で全25科目を修了。1921年、女学校を退職して、大学の農芸化学科で研究を補助する副手となりました。この年、28歳で結婚。そして1922年、女性研究者第一号として理研に採用されたのです。その月に長男を、2年後には長女を出産しています。女性の研究者には結婚すら認められていなかったこの時代にあって、理研には大正デモクラシーの寛容さがありました。

加藤は、高嶺（俊夫）研究室に所内留学をして分光学の手法を学び、吸収スペクトルを化学分析に応用しました。そして、アセチレンを加熱すると重合してベンゼンが生成されることを吸収スペクトルから明らかにしました。その論文を京都帝国大学に提出し、1931年、38歳で理学博士号を取得しました。女性としては、1927年の保井コノ（植物学）、1929年の黒田チカ（有機化学）に次いで3人目の理学博士です。戦中は内閣戦時研究員として航空燃料の改質に取り組みました。その一方で、長男が硫黄島で戦死したという知らせを受け取っています。

加藤は1953年、女性として初めて主任研究員に任命されました。定年後も5年間嘱託として理研に残り、抗生物質の開発などを行っています。その後も大学の教壇に立ち、引退したのは80歳を過ぎてからでした。1989年、95歳で亡くなりました。

辻村みちよ——緑茶の研究で女性初の農学博士に

加藤セチが女性研究者第一号として理研に採用された翌年の1923年には辻村みちよが研究生として、1924年には黒田チカが嘱託として理研で研究を始めています。きっかけは関東大震災でした。

辻村みちよは1888年、埼玉県で生まれました。父は小学校の教員で、4人の娘全員を教職に就かせています。辻村も小学校の教員として勤めた後、東京女子高等師範学校理科に進み、1913年に卒業しました。女性で初めて理学博士になった保井コノとは互いの家を行き来する付き合いで、辻村は保井を尊敬し、教員をしながら研究者になる機会を探していました。

後段で紹介する東京女子高等師範学校の先輩である黒田チカの活躍も刺激となり、辻村は決断をします。1920年、北海道帝国大学の農芸化学科で研究を補佐する副手となったのです。翌年には、加藤セチが同じ学科の副手になっています。辻村は、助教授の近藤金助のもとでカイコの栄養に関する研究を始めました。そして近藤の計らいで、1922年に東京帝国大学医学部



加藤セチ (1893-1989、手前)



辻村みちよ (1888-1969)



黒田チカ (1884-1968)

医化学教室へ移りました。しかし、翌年の関東大震災で研究室が全焼してしまいます。

研究の場を失った辻村は、理研の鈴木（梅太郎）研究室の研究生となりました。緑茶にビタミンCを探す研究に着手した三浦政太郎が、その実験に辻村を起用。緑茶にビタミンCが含まれていることを確認しました。また、緑茶の渋味成分であるカテキン、タンニンを発見、その化学構造式も決定。論文を東京帝国大学に提出して1932年、43歳で女性初の農学博士になりました。1934年には新しい種類のカテキンを発見しています。

戦後の1947年、58歳で研究員に。1949年には学制改革によって東京女子高等師範学校はお茶の水女子大学となり、辻村は、保井、黒田らと共に教授となりました。66歳でお茶の水女子大学を退官すると、実践女子大学の教授となり、74歳まで女子の化学教育に尽くしました。1969年、81歳で亡くなりました。

黒田チカ——帝国大学初の女子学生

黒田チカは1884年、佐賀県に生まれました。父は開明派で、娘にも進んで学問を受けさせました。1907年、東京女子高等師範学校に新設された研究科に入学。1909年に修了すると、助教授になりました。その3年後、大きな出会いがありました。日本初の理学博士であり日本薬学の父と呼ばれる長井長義が講師として招かれ、その助手を務めることになったのです。「化学では物に親しまなければならぬ」という長井の教えは、黒田の研究における信念となりました。同じころ、東北帝国大学に理科大学を新設する準備が進められていました。そして、総長の澤柳政太郎と教授の真島利行らが中心となり、女子の入学許可を決定したのです。黒田は長井の推薦を受け、1913年、29歳で化学科に入学。数学科に入った牧田らく、黒田と同じく長井の推薦を受けて化学科に入学し後に理研で活躍する丹下ウ

メと共に、帝国大学初の女子学生となりました。

黒田は有機化学を専攻し、真島の指導のもとで多年草のムラサキの根である紫根の色素の研究を行い、化学構造を決定してシコニンと名付けました。大学で副手をした後、東京女子高等師範学校の教授となり、1918年には紫根の色素について東京化学会で発表し注目を集めます。さらに「家事に関する理学研究」のために留学。女性が国費で留学するには、まだ「家事」という名目が必要だったのです。黒田は2年間、英国オックスフォード大学でインドール誘導体などの合成研究を行い、1923年8月に帰国。研究を再開しようとした矢先、関東大震災によって東京女子高等師範学校が大きな被害を受けてしまいました。研究の場を失った黒田に手を差し伸べたのが、東北帝国大学での恩師、真島でした。理研の主任研究員でもあった真島は、翌1924年、囑託として黒田を理研に迎え入れたのです。

黒田は紅花の色素の研究を始め、カーサミンの化学構造決定に成功。そして1929年、45歳で理学博士となりました。女性としては保井コノに次いで2番目の理学博士です。その後、ツクサの花汁やナスの皮、シソの葉などの色素の化学構造を決定しました。1939年には囑託から研究員に。戦争が激化する中、タマネギの皮の研究に着手し、1952年にはタマネギの皮からケルセチンの結晶100gを取り出すことに成功しました。この研究は、高血圧治療剤「ケルチンC」へとつながりました。

1949年にお茶の水女子大学の教授に。1952年の退官後、1963年まで非常勤講師を務め、1968年に84歳で亡くなりました。

(執筆：鈴木志乃/フotonクリエイト)

参考資料

理研ビデオライブラリー『女性科学者のパイオニアたち』『道もなき道ふみわけて—女性科学者の100年—女性科学者のパイオニアたち総集編』お茶の水女子大学デジタルアーカイブズ～先駆的女性研究者データベース～

究極のドラッグデリバリーシステムを目指す研究者

狙った臓器や細胞に薬を届けるドラッグデリバリーシステム (DDS)。

その技術開発に取り組んでいる研究者がライフサイエンス技術基盤研究センター (CLST) にいる。分子ネットワーク制御イメージングユニットの向井英史ユニットリーダー (UL) だ。

「DDSは薬の効果を最大限に、副作用を最小限にする画期的な技術ですが、まだ完全ではなく、停滞状態にあります。この40年ほどでさまざまな方法が研究し尽くされ、次のステップに上がるための“種”がないのです」。

そう語る向井ULはブレークスルーを起こすべく、必要な場所で必要なときに必要な量だけ薬をつくる、究極のDDSの研究開発を進めている。

趣味はバイオリン。そんな向井ULの素顔に迫る。



向井英史

ライフサイエンス技術基盤研究センター
分子ネットワーク制御イメージングユニット
ユニットリーダー

むかい・ひでふみ

1981年、大阪府生まれ。京都大学工学部工業化学科卒業。同大学大学院工学研究科分子工学専攻修士課程修了。同大学大学院薬学研究科博士課程修了。京都大学先端技術グローバルリーダー養成プログラム研究員、理研分子イメージング科学研究センター研究員などを経て、2015年より現職。

習字、そろばん、水泳、ピアノと、子どものころからいろいろな習い事をしてきた向井UL。中学では野球部かバスケットボール部に入るつもりだった。「球技が大好きなんです。ところが、入学直後に聴いたオーケストラ部の演奏に感動して入部を決め、バイオリンを始めました。大学でもオーケストラに入ってバイオリン漬けの日々を過ごしました」。大学卒業後も京都の市民オーケストラに所属し、年に数回はコンサートで演奏していた。最近もレッスンは続けている。

「これをやりたい、この職業に就きたい、と強く思ったことはないですね」と向井UL。「京都大学工学部工業化学科に進学したのも、物質、材料、エネルギー、環境など、扱う内容が幅広く、入学してからの選択肢が多かったからです」

そのまま大学院に進み、修士課程では生物がつくる色素などの有機化合物を改変して酵素活性を持たせる研究を行った。次第に生体内での反応を見たいと思うようになったが工学系の研究室では難しく、それが可能な薬学研究科の博士課程へ。DDSの研究を始め、狙った臓器で遺伝子を発現させる方法の開発に取り組んだ。「発現させたい遺伝子を含む核酸を裸のまま血管に投与して全身を循環させておき、目的の臓器を押して圧力をかけることで、そこだけで遺伝子を発現させる。そんな変わった方法を研究しました」

博士号取得後の2009年4月、京都大学先端技術グローバ

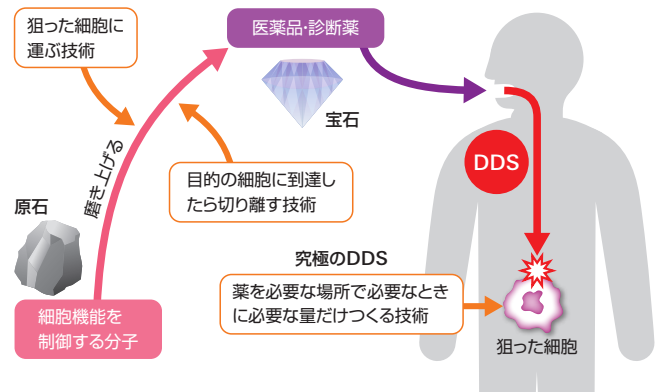


図 ドラッグデリバリーシステム (DDS) の研究開発の概念図

ルリーダー養成プログラム研究員として理研分子イメージング科学研究センター (現 CLST) で、PET (陽電子放出断層画像法) を活用したDDSの研究に着手。「PETを使うと体内での分子の動きを可視化できるので、DDSが成功したかどうかを正確に評価できます。またPETをさまざまな病気の画像診断に応用する研究が進んでいますが、そのためには病気の原因となる細胞に特異的に集積する分子プローブを設計する必要があります。それは狙った細胞に薬を運ぶことと共通なので、互いに参考になることがたくさんあります」。2009年10月、理研の研究員に。PETを用いた分子イメージングとDDSの両方に通じているという長所を活かし、新しいDDSの開発や、タンパク質や核酸の挙動を調べるための生体高分子PETプローブの開発などを進めている。

主要テーマの一つが、がん治療用バクテリアマシンの開発だ。「薬の副作用を最小限にするには、薬を生体内に必要な場所で必要なときに必要な量だけつくるのが理想です。抗がん作用のあるタンパク質をつくれるように改変したバクテリアを投与し、それをがん細胞に集積させ、その場でタンパク質をつくらせることを目指しています。究極のDDSです」

抑圧による遺伝子発現制御など一風変わった研究をしてきた向井UL。「意図的に人と違うことをやろうとしているわけではなく、むしろ危険なことは避けたいと思っています。でも気が付くと、周囲と違うことをやっていたり、場違いなところに入り込んでいたりすることも、なぜか多いですね。停滞期にあるDDSにブレークスルーを起こすには、あえて変わったことをする必要もあるのかもしれません」

中学3年生のとき合唱コンクールで初めて指揮をした。「指揮者の才能がある！」と確信しました。もちろんオーケストラの指揮者とは比べものになりませんが、全体を俯瞰しながら身ぶり手ぶりでみんなを盛り上げていくのがうまいんです」と笑う。「その手腕を研究ユニットのマネジメントにも活かし、DDS研究を前進させたいですね」

(取材・執筆：鈴木志乃/フotonクリエイト)

企画展「理化学研究所百年」開催のご案内 アルマイト お弁当箱からニホニウムまで

理研創立百周年（2017年3月20日）を記念して、国立科学博物館と企画展「理化学研究所百年」を共催します。

今回の展示では、理研設立、偉大な先人たち、財団理研、(株)科学研究所、和光移転、理研が生み出した製品、現在の研究や研究設備、新しい百年へ——と理研の百年の歩みを、展示品と共にタイム

ラインに沿ってたどる構成となっています。また、113番元素「ニホニウム」原子核模型との写真撮影コーナーも設置します。3月18日（土）には、記念講演会も開催します（事前申し込み制、下記URLをご参照ください）。

皆さまお誘い合わせの上、ぜひご参加ください。



会場	国立科学博物館 日本館地下1階多目的室（東京都台東区上野公園7-20）
会期	2017年2月28日（火）～4月9日（日）
主催	国立科学博物館、理化学研究所
開館時間	午前9時～午後5時（金・土曜は午後8時まで） ※入館は各閉館時刻の30分前まで
休館日	3月6日（月）、3月13日（月）、3月21日（火）
入館料	一般・大学生620円、高校生以下および65歳以上無料 ※入館料にて、国立科学博物館の常設展示もご覧いただけます。
URL	http://www.kahaku.go.jp/event/2017/02riken/

「科学道100冊フェア」開催中！

理化学研究所は、株式会社編集工学研究所と共同で、2017年2月から全国の書店や図書館で「科学道100冊フェア」を開催します。

世の中に存在するあらゆる疑問。“知りたい！”という科学者たちの好奇心が真実を解き明かし、社会や暮らしを豊かにし、未来をつくってきました。科学道100冊フェアでは、六つのテーマを軸に科学者の考え方や姿勢を100冊の本で表現することに挑戦しました。

1. はじまりは疑問：誰もが見落としてしまうような素朴な疑問から科学の道ははじまる。ひらめきをつかまえる20冊。
2. 果てしない収集：美しい蝶を追いかけるように「夢中になる」ことは最高の学び。科学少年の情熱が詰まった20冊。
3. 導かれたルール：身の回りに目を凝らしてみると驚くべきヒミツの法則が見えてくる。自然の方程式を解く15冊。
4. めくるめく失敗：実験と失敗を繰り返しながら数々の大発見をしてきた科学者たち。失敗は成功へのプロセスだと気づく15冊。
5. まるで魔法：今では当たり前にも思えるものも世界を変える大発見だった！科学の技術革命をたどる15冊。
6. 未来のはじまり：AI、VR、ビッグデータ……世界はどんなふうに変っていくのか。科学の視点から未来を見通す15冊。

あなたの“知りたい！”が、きっと次の未来をつくります。ぜひ、科学道100冊フェアに足を運んでみてください。

フェア 開催書店	全国100店舗以上（紀伊國屋書店新宿本店、三省堂書店神保町本店、ジュンク堂書店池袋本店、丸善丸の内本店、MUJI BOOKS有楽町店、ほか） ※一部、図書館でも開催しています。詳しくは、「科学道100冊」のHP（ http://kagakudo100.jp/ ）をご覧ください。
問い合わせ先	科学道100冊委員会 TEL：03-5301-2214（編集工学研究所内） E-mail：info@kagakudo100.jp



「nano tech 2017 第16回 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」出展のお知らせ

理研は、「nano tech 2017」に産業連携を見据えた物理・工学系分野の最先端技術を出展します。理研ブース内にて、ポスター発表とプレゼンテーションを予定しています。研究者と分野を超えたネットワーク構築の機会として、皆さまのご来場をお待ちしています！

日時	2017年2月15日(水)～17日(金) 10:00～17:00
場所	東京ビッグサイト東4・5・6ホール&会議棟 (東京都江東区有明3-11-1) 最寄駅：ゆりかもめ「国際展示場正門駅」、 りんかい線「国際展示場駅」
入場料	3,000円(Web事前登録の場合入場無料)
詳細	http://www.nanotechexpo.jp/



International Nanotechnology Exhibition & Conference
nano tech 2017

国際ナノテクノロジー 総合展・技術会議

「nano tech 2016」の様子



出展テーマ

リチウムホウ素化合物の新しい合成法を開発

侯有機金属化学研究室

侯 召民

社会実装を目指したテラフォニクス技術開発

光量子工学研究領域 テラヘルツ光研究グループ テラヘルツ光源研究チーム

縄田耕二

核スピンを揃えろ!! -NMRやMRIの感度向上に向けて-

仁科加速器研究センター 上坂スピン・アイソスピン研究室

上坂友洋

外部からの刺激にตอบสนองして無色から2段階に色が変わる有機色素

内山元素化学研究室

村中厚哉

ライフサイエンス技術基盤研究センター 生命機能動的イメージング部門

イメージング基盤・応用グループ 次世代イメージング研究チーム

神野伸一郎

がんの放射線治療のための三次元ゲル線量計

産業連携本部 イノベーション推進センター 三次元ゲル線量計研究チーム

濱田敏正

電子波干渉光学系の開発

創発物性科学研究センター 量子情報エレクトロニクス部門 創発現象観測技術研究チーム

原田 研

新しい質量分光器 -多重反射型飛行時間測定式質量分光器の応用-

仁科加速器研究センター 実験装置開発室 低速RIビーム生成装置開発チーム

和田道治

無線センサー搭載ボールによる運動測定

情報基盤センター

姫野龍太郎

情報基盤センター 計算工学応用開発ユニット

野田茂穂

世界最強のイオンビーム加速を可能とする高配向・高密度炭素膜

仁科加速器研究センター 加速器基盤研究部 加速器高度化チーム

長谷部裕雄

革新知能統合研究センター 新研究室主宰者の紹介

新しく就任した研究室主宰者を紹介します。

- ①生まれ年、②出生地、③最終学歴、④主な職歴、
⑤活動内容・研究テーマ、⑥信条、⑦趣味

目的指向基盤技術研究グループ



分子情報科学チーム
チームリーダー

津田宏治 つだ・こうじ

①1972年 ②京都府 ③京都大学大学院工学研究科博士課程 ④産業技術総合研究所、マックスプランク研究所(ドイツ) ⑤機械学習/データ科学 ⑥無理しない ⑦旅行



医用機械知能チーム
チームリーダー

原田達也 はらだ・たつや

①1972年 ②埼玉県和光市 ③東京大学大学院工学系研究科博士課程 ④東京大学大学院情報理工学系研究科教授 ⑤画像認識、知能ロボット ⑥人間万事塞翁が馬 ⑦テニス



インフラ管理ロボット技術チーム
チームリーダー

岡谷貴之 おかたに・たかゆき

①1971年 ②和歌山県 ③東京大学大学院工学系研究科博士課程 ④東北大学 ⑤コンピュータビジョン・深層学習 ⑥流れにあらがわない ⑦自動車整備と子育て



脳情報統合解析チーム
チームリーダー

川鍋一晃 かわなべ・もとあき

②愛媛県 ③東京大学大学院工学系研究科博士課程
④フ라운ホーファー FIRST (ドイツ)、ATR認知
機構研究所 ⑤生体情報工学、環境知能 ⑥未来は
今日始まる ⑦サイクリング



計算脳ダイナミクスチーム
チームリーダー

山下宙人 やました・おきと

①1976年 ②東京都 ③総合研究大学院大学数物科
学研究科統計科学専攻 ④ATR脳情報研究所 ⑤ヒ
ト脳機能イメージングデータ解析 ⑥天は自ら助
ける者を助く ⑦スポーツ観戦、将棋、バドミントン

汎用基盤技術研究グループ



近似ベイズ推論チーム
チームリーダー

KHAN Mohammad Emtiyaz
カーン・モハマド・エムティヤーズ

①1978年 ②インド ③プリティッシュコロンビア
大学 (カナダ) 博士課程 ④スイス連邦工科大学ロー
ザンヌ校 (EPFL) ⑤機械学習、統計学 ⑦音楽、
ハイキング、バドミントン



非凸学習理論チーム
チームリーダー

金森敬文 かなもり・たかふみ

③総合研究大学院大学数物科学研究科統計科学専攻
④東京工業大学、名古屋大学 ⑤人工知能の基礎理
論としての数理統計学、機械学習、情報幾何学
⑥何事にもこだわらないこと ⑦寝ること



深層学習理論チーム
チームリーダー

鈴木大慈 すずき・たいじ

①1981年 ②千葉県 ③東京大学大学院情報理工
学系研究科博士課程 ④東京大学助教、東京工業大
学准教授 ⑤統計的学習理論 ⑥継続は力なり ⑦空
手、サイクリング



計算論的学習理論チーム
チームリーダー

畑埜晃平 はたの・こうへい

①1976年 ②大阪府 ③東京工業大学大学院情報工
学研究科数理・計算科学専攻博士課程 ④九州大学情
報基盤センター助手、同大学院システム情報科学研究
院助教、同付属図書館准教授 ⑤機械学習、オンライ
ン予測 ⑥Keep It Simple, Stupid ⑦読書、映画、ヨット



幾何学的学習チーム
チームリーダー

竹之内高志 たけのうち・たかし

①1976年 ②千葉県 ③総合研究大学院大学数物科
学研究科統計科学専攻 ④奈良先端科学技術大学院
大学、はこだて未来大学 ⑤統計的機械学習、アン
サンブル学習 ⑥人間万事塞翁が馬 ⑦ワイン



数理科学チーム
チームリーダー

坂内健一 ばんない・けんいち

②東京都 ③東京大学大学院数理科学研究科 ④名
古屋大学大学院多元数理科学研究科、慶應義塾大学理
工学部数理科学科 ⑤数論幾何、特にL関数の特殊値
にまつわる研究 ⑥たとえ分かり合えなくても、一緒
に生きていける ⑦家族と過ごすこと



トポグラフィック特徴学習ユニット
ユニットリーダー

佐々木博昭 ささき・ひろあき

③東北大学大学院工学研究科博士課程 ④東京大学
特任研究員、奈良先端科学技術大学院大学 助教
⑤トポグラフィック特徴学習に基づいた機械学習アル
ゴリズムの開発 ⑥切り替えと集中 ⑦スポーツ
観戦



オンライン意志決定ユニット
ユニットリーダー

本多淳也 ほんだ・じゅんや

①1985年 ②神奈川県 ③東京大学大学院新領域創
成科学研究科博士課程 ④東京大学助教 ⑤機械学
習に基づく意志決定理論 ⑥やってみてから考える
⑦自転車・登山



離散最適化ユニット
ユニットリーダー

前原貴憲 まえはら・たかのり

①1983年 ②静岡県 ③東京大学大学院情報理工
学系研究科博士課程 ④国立情報学研究所、静岡大
学 ⑤最適化・数値計算の理論とそれらの人工知能応用
⑥いろいろやろうぜ ⑦旅行・食事

社会における人工知能研究グループ



社会における人工知能研究グループ
グループディレクター

プライバシーと社会制度チーム チームリーダー

中川裕志 なかがわ・ひろし

①1953年 ②千葉県 ③東京大学大学院工学系研究
科 ④横浜国立大学工学部、東京大学情報基盤セン
ター ⑤プライバシー保護技術、機械学習 ⑥コン
スタントに仕事すること ⑦ジョギング

私の花の楽しみ方

緒方俊彦 おがた・としひこ

統合生命医学研究センター 技師（施設担当）

花の観賞には、いろいろな方法があるが、歩きながらゆったりと自然に咲いている花を見るのがよい。植えられている花を切り花にして飾って鑑賞する方もおいでになるだろうが、花は、咲いている自然のままを楽しむのがよい。

私の家には“ゲンノショウコ”という植物がきれいな赤紫色の花を付けたので、横浜事業所にも株分けして植えている。それから今に至るまで、その季節になると赤紫の花を見せてくれる。

“ゲンノショウコ（現の証拠）”という変わった名前は、この草の薬効から来ている。昔旅人が旅の途中でおなかを壊したとき、近くを通った人が、「この薬草を煎じて飲みなさい。飲んだらすぐにこの薬草の効き目が出ます。それが現の証拠です」と言ったとか言わないとか。

事業所のゲンノショウコは赤紫色をしているが、調べてみるとゲンノショウコには白い花もある。ネットで検索してみると、白い花びらに紫色の雄しべが、きれいに映えて見える。ぜひ本物を見てみたいと思っていたら、2008年、京都・奈良を訪れたとき、奈良の室生寺から室生口大野へ歩く道すがら、それを見つけた。そのとき、白いゲンノショウコは私の片思いの対象でもあったので、見つけたときは心躍るほどうれしかった。だからといって、もちろんその採取は許されない。“採るな”とはどこにも書かれていないし、おおよそ1時間半ほど歩く道だったが途中、村人と思われる1人と会っただけで、ほかに誰も通る人はいないような場所である。しかし自然に生えている草花は決して採ってはいけない。私は常にカメラを持っていて、写真を撮ることができる。私はそれで十分に満足であった。たとえ採取し持ち帰っても、また花を付けてくれるとは限らない。植物は、往々にしてその生えていた場所の土や気候を好んでいる。また偶然に見つけた植物は、その場所で咲いていたからこそ、私の心の中に思い出として残っているのである。多分採取して持ち帰って庭に植えて、花が次の年に咲いたとしても、初めて野

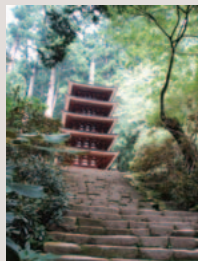
事業所のゲンノショウコ



筆者近影



室生寺の五重塔

室生路の白い
ゲンノショウコ

室生川の流れ



室生川対岸の崖と植生



大野寺対岸の磨崖仏

で見たとときの感動は生まれないだろう。

“花がきれいだ”と思ったときは、その状態がきれいなのであり、その姿を心の中に残すべきである。私はその状況を記録するために、旅行や散歩のときは常にカメラを持っている。そして撮った写真を見ながら、その時間や空間を何度も思い出すのである。“花がきれいだ”と思ったときにその花を採取すれば、そこで感動は消え去ってしまう。なぜなら、きれいだと思った花を持ち帰るからだ。“きれいな花”というイメージが、その花の中に残っていると思い込んで持ち帰る。ところが実際は、花が咲いている周辺も含めて、“美しい”と人は感じている。だから採ってきた花を植えても、そのときの感動は生ずるべくもない。ただ、“美しいと思った花”があるだけである。そして花の美しさに飽きてくれば、“花がきれいだった”という思い出やその周りの風景も、枯れて失われてしまうことになる。

私の心の中にある白いゲンノショウコは、8年たった今でも、室生寺から室生口大野まで続く、室生川のせせらぎや急勾配の岩肌、岩に張り付いた松や、路傍の草花も思い起こさせてくれる。その思い出の中に白いゲンノショウコは清らかな姿で咲いている。

創立百周年記念事業への寄附金のお願い

創立百周年（2017年）の記念事業へのご支援をお願いします。

問合せ先 ● 理研 外部資金室 寄附金担当

Tel : 048-462-4955 Email : kifu-info@riken.jp

理研 寄附金
Support RIKEN



理化学研究所 創立百周年
RIKEN 100th Anniversary



<http://www.riken.jp/>