

# JSTnews

未 来 を ひ ら く 科 学 技 術

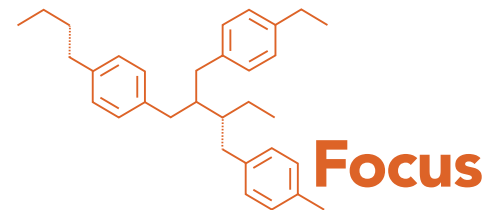
Focus

革新的触媒をつくる  
若き研究者たちの挑戦

12

December  
2016





## 3 Focus 革新的触媒をつくる ～若き研究者たちの挑戦～

### 4 Focus 01 触媒で生命と健康を守る

### 8 Focus 02 斬新な発想で夢の触媒反応に挑む

### 12 社会への架け橋 ～シリーズ3 食の未来を考える 第2回～ 省エネルギー、超節水型の植物工場を開発する

### 14 NEWS & TOPICS 天候に左右されない穀物生産に期待 細胞内のカルシウム濃度を一定に保つメカニズムを解明 ほか

### 16 さきがける科学人 Vol.56 四反田 功（東京理科大学理工学部 講師）



#### 表紙写真

認識部位を持たせた触媒の分子模型を手にした  
東京大学大学院薬学系研究科の金井求教授。  
「ERATO 金井触媒分子生命プロジェクト」を率いる。  
「研究にゴールはありません。この触媒研究の方向で  
行けるところまで行こうというのが1つのゴールです」。

編集長：上野茂幸／企画・編集：浅羽雅晴・菅野智さと・佐藤勝昭・月岡愛美・鳥井弘之・松山桃世・村上美江・山下礼士  
制作：株式会社エフビーアイ・コミュニケーションズ／印刷・製本：北越印刷株式会社

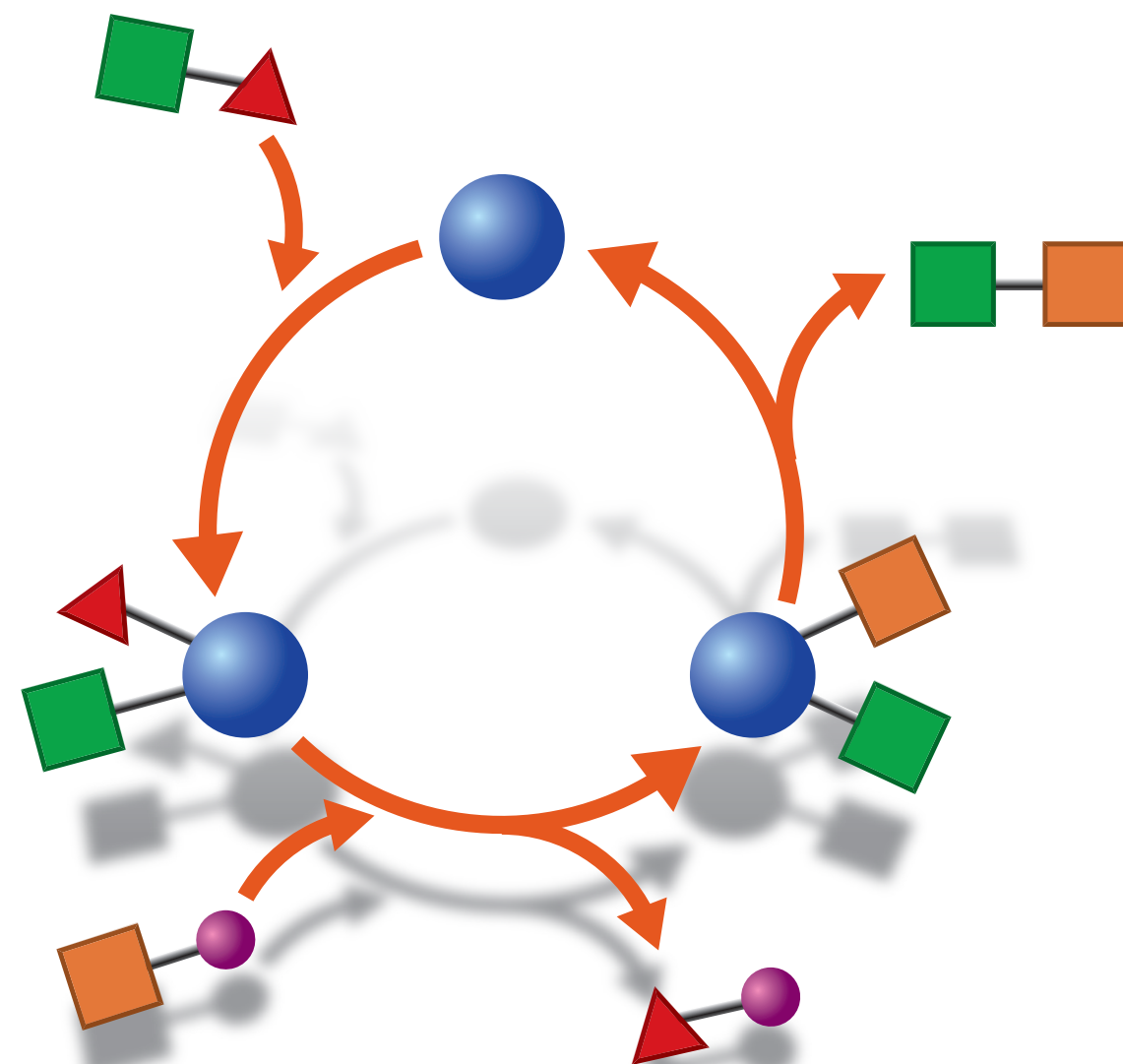
## 革新的触媒をつくる ～若き研究者たちの挑戦～

あの人が触媒になってうまくまとまった。触媒となった彼の努力  
があつてこそ——。れっきとした化学用語が、いまやこのような日  
常語として使われている。

それもそのはず、触媒研究は「光触媒」などをはじめとして日本  
のお家芸にもなっているからだ。しかもこの分野でノーベル賞受  
賞者も相次いだ。野依良治博士は「キラル触媒による不斉反応」  
(2001年)で、根岸英一博士と鈴木章博士が「パラジウム触媒によ  
るクロスカップリング反応」(2010年)で、それぞれノーベル化学  
賞を受賞した。

改めて触媒とは何かを説明しておく、「化学反応を速めたり遅ら  
せたりして反応を制御するが、反応前後で自身は変化しない物質」を  
いう。人工的に多彩な機能を持たせることができるようになった触媒  
が、自動車エンジンからエネルギー、環境浄化、製薬などあらゆる産  
業を活性化させ、欠かせない技術として注目されている。

触媒の世界では今、従来の枠を超えた新しい視点が求められ、  
若手研究者の自由で柔軟な発想に期待が集まっている。日本の知  
の結晶ともいべき触媒研究をさらに発展させる、若き研究者たち  
の挑戦を紹介する。





## Focus 01

# 触媒で生命と健康を守る

生命活動は酵素が触媒の働きをする化学反応によって支えられている。酵素に代わる機能を持った人工の触媒を有機化学の力でつくり、アルツハイマー病のような治療が難しい疾患にも効く医薬品の開発や、遺伝子発現の制御によるがん治療法の確立に応用しようというのが、東京大学大学院薬学系研究科の金井求教授が率いる「ERATO 金井触媒分子生命プロジェクト」だ。世界でも類を見ない新しいアプローチで人間の生命と健康を守ろうとしている。

### 人工触媒で体内の解毒やがん細胞を死滅させたい

話すこと、息をすること——。生命活動は酵素を触媒とする化学反応で維持されている。体内で起こる化学反応が過剰に進行したり低下したりすると、それが病気や体調不良として現れる。酵素の異常な働きを抑え込み、または不足している時に手助けするのが、医薬品の大きな役割だ。

「医薬品や農業など、人間が生きていく上で役に立つ物質をつくるためには、触媒が不可欠です。優れた物質の恩恵が世界中の人々に行き渡る量を生産できる働き者の触媒をつくりたい」と語るのは、東京大学大学院薬学系研究科の金井求教授だ。

優れた薬理作用が期待できても、構造が複雑なために合成コストが高くなってしまふものがある。複雑な構造の医薬様物質（医薬品に結びつく有用な化合物）の合成工程を短縮し、これまで供給が困難であった医薬分子を簡単に、かつ環境を汚染させずに合成することが大きな目的の1つである。分子量100程度の小さな有機物から10万を超える巨大なたんぱく質までを、同じように反応させる触媒の開発が始まっている。

酵素機能と置き換えのできる人工触媒を開発し、これを生体内に入れることで、「たんぱく質や脂質などの生命活動に重要な生体分子に対して、人工の触媒反応が医薬として働く」という新しいコンセプトも提唱している。

「生物学の『エピジェネティクス』の話聞いたときに、薬学分野に身を置く触媒研究者として震えるような感動を覚えました。エピジェネティクスとは、遺伝子の情報だけではなく、遺伝子やたんぱく質が化学的に修飾されたものが実際の遺伝情報の発現に影響することをいう。つまりDNAの塩基の並び方だ

けでなく、そこに化学的な反応が加わって個性が出てくるという考え方です。生命活動にとっては、DNAやたんぱく質といった物質と同じくらいに、化学反応が重要性を持っているのです。人工触媒を体の中に入れて、体の中に溜まった毒物を除く酵素を助けたり、がん細胞を自死に導いたりすることが可能になるはず。さらに踏み込むと、酵素が促進する化学反応を使ってできている現在の生命体がベストだとは限りません。人工触媒の利点は多彩な反応を促進するところで、酵素ではできない化学反応を使うことで今よりも優れた生命体ができる可能性が十分にあると信じています。天然物そのものは薬にならない場合が多いですが、化学修飾を加えれば副作用などを抑えて薬にできることに似ています」と目を輝かせる。

### 「油っぽい分子」と「水っぽい分子」の合成と変換

プロジェクトの研究は、「触媒グループ」、「医薬機能グループ」、「触媒医療グループ」の3つのグループで進められている。

「世界中に行き渡る量の物質を簡単に作る触媒と、体の中で酵素の代わりに病気を治す反応を進める触媒とは、一見違うものに思われるかもしれませんが、根本にある考え方は一緒です。3つのグループが、体温に近い温和な条件で安定な分子を狙った通りに活性化できる触媒をつくる、という目標をしっかりと共有しています」。

國信洋一郎グループリーダーの「触媒グループ」は、医薬様物質をつくる触媒を開発するのが目標だ。

生体を形づくる物質の多くは、「水っぽい」親水性分子である。つまり炭素に酸素や窒素が結合しているような物質だ。一方、石油の

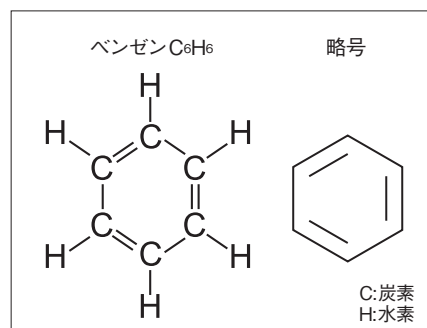


図1 ベンゼン環の構造  
ベンゼンなどの芳香族化合物に含まれる、6個の炭素原子からなる六角形の構造。

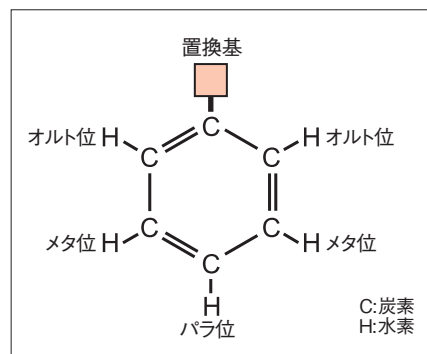


図2 芳香環の構造  
医薬品や機能性材料の多くは、芳香環に官能基を導入する（芳香環の水素を官能基に置換すること）で合成される。芳香環上で置換基から最も遠い反応点をパラ位、最も近い反応点をオルト位、これら以外の反応点をメタ位という。他の2つの反応点に比べて、メタ位の水素だけを官能基に置換することは困難である。

ような天然資源は「油っぽい」疎水性分子で、炭素と水素が結合している。薬は「水っぽい分子」でないと生体分子に作用しないことが多いので、薬をつくるには「油っぽい」炭素と水素の結合を、炭素と酸素や窒素の結合に変えて「水っぽく」していく必要がある。

触媒グループの目標の1つは、「油っぽい分子」を直接「水っぽい分子」にするチャレンジだと、金井さんは説明する。

『「油っぽい分子」を「水っぽい分子」に変え



### 金井 求 (かない もとむ) 東京大学大学院薬学系研究科 教授

1992年東京大学大学院薬学系研究科博士課程中退。92年大阪大学産業科学研究所助手、95年博士（理学）取得。96年米国ウィスコンシン大学研究員。97年東京大学大学院薬学系研究科助手、2000年同講師、03年同助教授を経て、10年より現職。01年さきがけ21「合成と制御」研究者、11年よりERATO 金井触媒分子生命プロジェクト研究総括。

るには、何段階もの工程が必要でした。しかし現在は、炭素と水素の結合から炭素と酸素や窒素などの結合を直接つくる技術が生まれています。触媒グループでは、その技術と、分子の特定の構造を目印として認識する部位をつなぎ合わせた触媒をつくりました」。

医薬品の多くは、「油っぽい」ベンゼン環（図1）が基本の骨格で、その周りの特定の

位置に、生体に作用する官能基と呼ばれる「水っぽい」原子の集合体を持っている。医薬品を効率的に合成したり、効果を向上させたりするためには、ベンゼン環の特定の位置だけに官能基を導入する反応が必要である。「分子の形や反応する位置を制御しながら、『油っぽい分子』を『水っぽい分子』に変えないといけません。炭素と水素の結合はたくさ

んあるので、どれか1つを選択して反応させていくのはたいへんです」。

目印から近くもなく遠くもない、手がかりを得にくい位置まで触媒を届けて反応させるとなると、よりいっそう難しくなる。炭素と水素がつながったベンゼン環の中でも、目印から見て「メタ位」と呼ばれる位置に官能基をつけるのはこれまで難しかったが、触媒の構造を工夫し、狙ったメタ位だけに官能基を結合させることに成功した（図2・3）。触媒の認識部位が目印をとらえて、活性部位をメタ位だけに届けたために実現できた新しい反応である。この画期的な触媒は、試薬会社からの市販が決定している。

逆に、比較的「水っぽい」ヘテロ芳香環の特定の位置に、「油っぽい」トリフルオロメチル基を導入する技術も開発した。ヘテロ芳香環は一般的な医薬品によくある骨格である。トリフルオロメチル基は数多くの医薬品や農業、機能性材料に含まれている官能基で、物質の効果や性能を向上させる。ベンゼン環の頂点の元素が炭素ではなく窒素になった構造のヘテロ芳香環で、窒素を目印として、その隣の炭素だけにトリフルオロメチル基を結合させることに成功した。

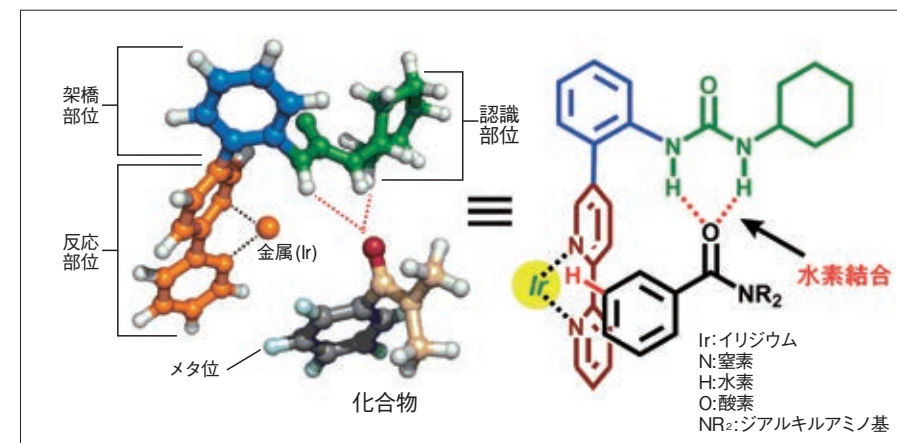


図3 置換困難なメタ位だけに官能基を導入する触媒反応を開発  
置換反応を進行させる「反応部位」(橙色)、水素結合により芳香環の置換基を認識する「認識部位」(緑色)、これらの部位をつなぐ「架橋部位」(青色)と、3つの部位で構成される独自の触媒を設計した。まず「認識部位」の2つの水素原子（白球）が化合物の芳香環（灰色）上の置換基の酸素原子（赤球）と水素結合を形成する（赤破線）。その結果、適切な長さをもち「架橋部位」が金属（Ir: イリジウム）を含む「反応部位」を芳香環のメタ位に近づけるため、芳香環のメタ位の水素と導入したい官能基とが置き換わる。



例えば、マラリアの特効薬として知られる天然キニーネが持つヘテロ芳香環の特定の位置にもトリフルオロメチル基を導入できた。天然キニーネは副作用が強く、第二次世界大戦以降は使われていない。近年、現在の主流薬品に耐性を持つ熱帯性マラリアが多く見られるが、天然キニーネにトリフルオロメチル基を導入して副作用のない医薬品を開発できるかもしれない。

「体温に近い温度で反応が進むように設計しました。目的の化合物をグラム単位で、しかも従来よりも高い収率で合成できるので、実用性が高いと考えています。幅広い化合物に応用することで、さらに変換反応のスピードを上げることがめざします。ゆくゆくは新薬開発につながると期待していますが、まずは世界の研究者にこの新しい考え方を知ってもらいたいのです」と國信さんは語る。

医薬品や機能性材料のより効率的な合成や、新たな医薬品開発の加速につながると期待されている。

#### 触媒反応でアルツハイマー病や糖尿病の治療を

脳機能に関わる病気に特化した治療法の開発をめざすのが、相馬洋平グループリーダーの

「医薬機能グループ」だ。新しい医薬様物質をつくることと、触媒反応の医薬機能を発見することの両方を担っている。

「ペプチドやたんぱく質の化学合成を研究してきましたが、触媒は全く門外漢でした。でも興味を持っていたアルツハイマー病の治療法の開発に役立つのではないかと、すぐにピンときました」。金井さんから触媒反応を薬として使うという発想を聞いた時を相馬さんは振り返る。

認知障害を主な症状とするアルツハイマー病は、国内で予備軍も含め800万人を超えるといわれ、その発症の抑制や治療は超高齢社会に向けた重要課題だが、この症状を改善する薬はまだない。アルツハイマー病は、もともと正常な機能を持つたんぱく質（アミロイドβペプチド）が、アミノ酸配列は同じなのに、その三次元構造が変化して集合状態（凝集）となって神経細胞を傷つけることで発症する。

そこで効果的と考えられているのがアミロイドβペプチドの凝集を抑えることだ。凝集はアミロイドβペプチドの「油っぽい」部分が引き起こすと考えて、これを酸素化（物質が酸素と結合する化学反応の一種）すれば「水っぽく」なって、凝集を抑制できるとの仮説を立てた。しかしアミロイドβペプチドを酸素化しようとすると、周辺の正常な生体分子も酸素化することになり、別の症状を引き起こすリスクが高い。

民間企業ではリスクが高すぎてアルツハイマー病の新薬開発になかなか踏み出せないが、金井さんはアカデミアの立場だからこそ、「人工触媒が促進する化学反応によって病気を治す」という新しい治療コンセプトから挑戦できると考えた。触媒の働きでたんぱく質そのものの構造を変えてしまえば、他の手法よりも劇的な性質変化が期待できる勝算は最初からあったと、相馬さんは言う。

アミロイドβペプチドを可視化する蛍光体にヒントを得て、その蛍光体の分子を改良し、新たな光触媒を開発した（図4）。毒性のあるアミロイドβペプチドの凝集した形だけを見分け、その構造だけを酸素化して変えていくことで、効果的に凝集や毒性を抑制できた。面白いことにアミロイドβペプチドを酸素化したものは、アミロイドβペプチドそのものの凝集を抑える。まさに体の中で毒を薬に変える、画期的な人工触媒反応となった。この触媒の特許取得にも成功している。

開発した光触媒は、糖尿病やパーキンソン病など他の病気への応用も期待されている。現在は反応を起こすために可視光程度の光エネルギーが必要で、光を体内にどのように照射できるかが課題だ。人体への影響を少なくできるように、近赤外領域の光で反応する光触媒を開発中で、ゆくゆくはもっとエネルギーの低い赤外光でも酸素化反応を起こせるように改良していく。

#### 酵素に代わる触媒で次世代の創薬をめざす

「触媒医療グループ」は、細胞内で働く酵素の機能を人工触媒で代替して遺伝子疾患やがんを治療することに挑戦している。山次建三グループリーダーが率いる化学系の研究者と川島茂裕グループリーダーが率いる生物系の研究者が緊密にタッグを組み、日々試行錯誤を繰り返しながら、新しい人工触媒を一から開発してきた。それまで薬はたんぱく質や酵素を阻害することで効果を生むものばかりだったが、触媒による化学反応そのものを利用する画期的な発想に、山次さんも川島さんも魅力を感じて、プロジェクトに参加したという。

生命機能は、DNAが持つ細胞の設計図に基づき、RNAを介して必要なたんぱく質をつくる一連のプロセスだ。そこに人工触媒を導入してたんぱく質やDNAを修飾し、たんぱく

質の機能や遺伝子の発現の制御を狙っている。例えば、人工触媒反応によってがん抑制遺伝子を自由自在に発現できれば、新しいタイプのがん治療となる。

「染色体を正しく分配するには、染色体を構成する主要たんぱく質のヒストンの化学修飾が重要であることを、大学院時代に5年かけて見つけだしました。その強みを生かし、ヒストンを化学修飾する人工触媒の開発に力を入れています。染色体の特定の位置に触媒を運び、狙った化学反応を促進できれば、新たな薬になるだけではなく、染色体研究の有用なツールにもなります」と川島さん。

ヒストンはDNAを折りたたんで細胞の核内に収納する役割を持つだけでなく、さまざまな化学修飾を受けている。しかし、どのような触媒であればヒストンの化学修飾ができるのか、また大量のたんぱく質が存在する細胞内でどのようにヒストンだけを反応させるのか、細胞核の中のヒストンに触媒をどのように届けるのか、プロジェクトの開始時点ではその全てが不明だった。

「細胞核の中でヒストンの特定のリジン残基のみを修飾できる人工触媒の開発に成功しています。プロジェクトの開発した人工触媒を体内に導入することで、がんなど酵素の異常が原因の病気を治せる日が近いかもしれま

せん」と山次さん。多くの製薬企業が注目し、複数の共同研究が始まっている。

JST戦略的創造研究推進事業では、海外との共同研究や国際シンポジウムなど、研究成果を広く世界に発信する活動を支援している。この国際強化支援による国際共同研究として、研究者を米国ロックフェラー大学に派遣し、同大学の先進的な生物学の実験システムを利用して、プロジェクトで作製した人工触媒の評価や検証が進行している。そもそも生物に人工触媒を導入する実験は世界に例がなく、今後の研究の進展が期待される。

#### 見えてきた道を突き進む

大学1年生の時、「匂い」の不思議さにひかれて生命への好奇心が芽生えたという金井さん。プロジェクトの研究を振り返り、「触媒研究で次のチャレンジは何かをずっと考えていました。あこがれていた生命の分野で貢献したいと決意しました。触媒と病気治療とを融合するアイデアを、ERATOによってスタートできました。このチャンスに感謝してもしきれません」と語る。

「困難や苦労は多いですが、成果は着実に出ています。直接的に人間の役に立つ成果が

出てくるにはおそらく20年から30年の年月が必要です。プロジェクトは幸い、優秀な若手メンバーに恵まれました。学生時代に所属した研究室は、サイエンスの前では人間は平等で、教授と学生という立場の違いはありませんでした。自分で考えて、自分のやりたいことをやるのがサイエンスだという気持ちで、若手メンバーと接しています。プロジェクトは、若手メンバーの将来のアイデアの蓄積にもつながっています。これからはERATOの研究を通じて出会った世界中の仲間と手を取り合って、生命を守るための触媒の研究を深め、日本発の新しい病態治療として大きく発展させていきます。またこの方向での触媒研究は、物質合成の進歩にも必ず貢献すると確信しています。その意味で、触媒化学は物質科学と生命科学の統一基盤だと思っています」と満面の笑顔を見せた。

新しい医薬品や治療法の開発に至るための触媒研究の方向は定まった。もはやぶれることはないという。

「この方向で、これから十数年、研究者人生を懸けて突き進んでいこうと思っています。まだスタートは切ったばかりです。研究にゴールはありません。この道で行けるところまで行こうというのが1つのゴールです」。フロンティアを見つめる金井さんの眼差しは熱い。

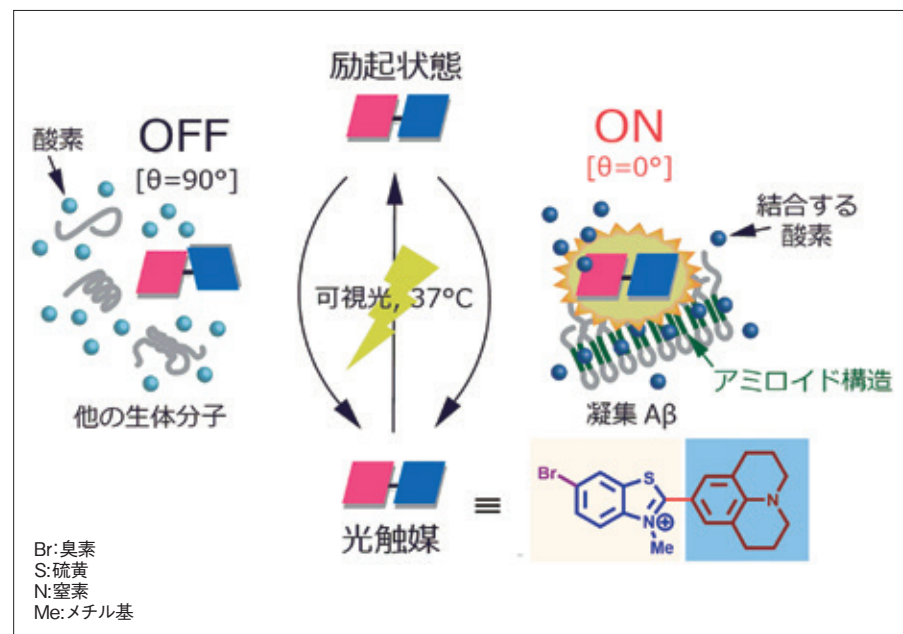
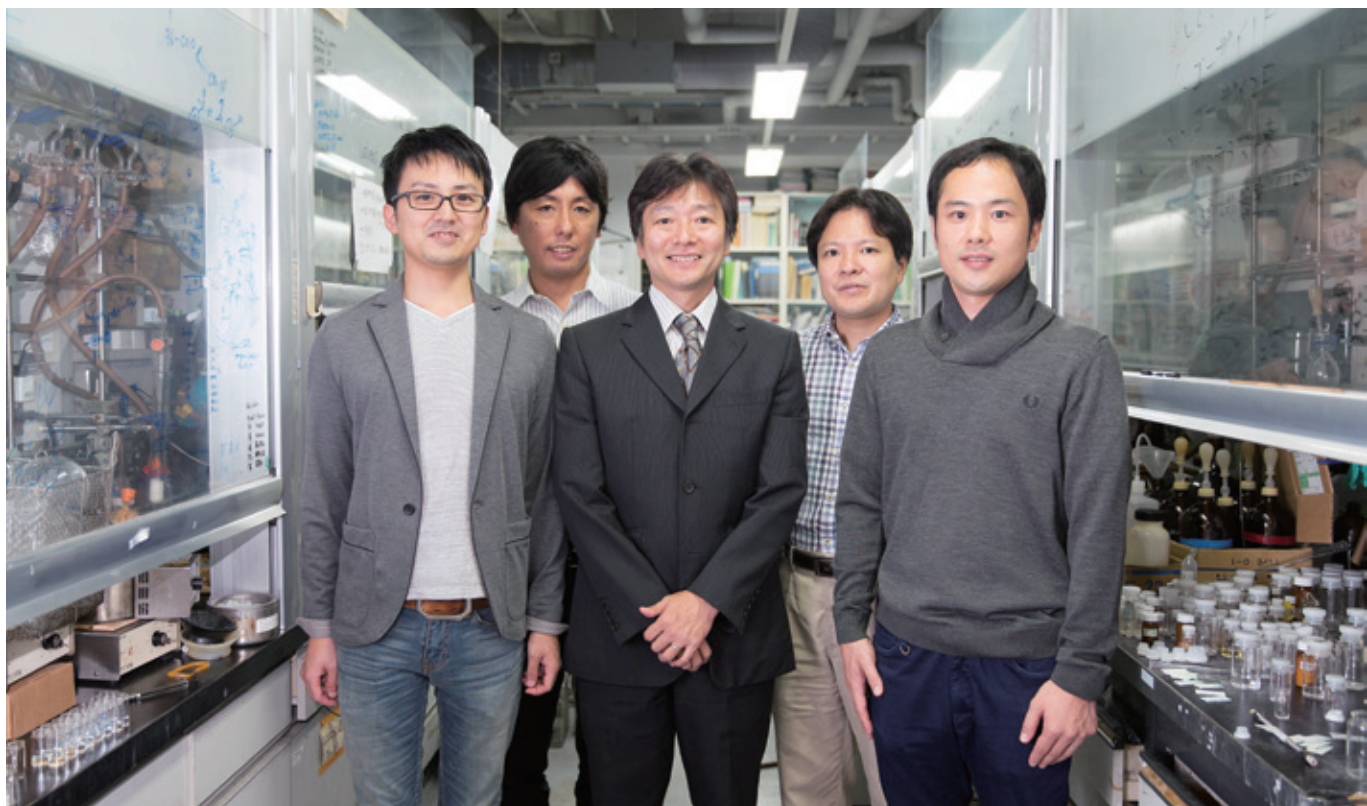


図4 凝集したアミロイドβペプチドだけを酸素化する光触媒を開発  
生体内に近い環境（酸素、中性な液体、37度）で可視光を当てると、光触媒の電子が励起状態（分子が外からエネルギーを与えられることで生じるエネルギーの高い状態）となる。励起状態から元に戻る途中、光触媒のピンクと青の面の間のねじれの角度（二面角 $\theta$ ）が0度付近に固定されたときのみ、凝集したアミロイドβペプチド（A $\beta$ ）のアミロイド構造に結合しやすい酸素を発生し、酸素化して凝集を阻害する。他の生体分子にはアミロイド構造がないため酸素化は起こらない。



左から山次グループリーダー、川島グループリーダー、金井研究総括、國信グループリーダー、相馬グループリーダー



## Focus 02

## 斬新な発想で夢の触媒反応に挑む

生活に欠かせない化学製品や燃料の多くは、石油からの炭化水素化合物を元につくられている。石油資源の枯渇などに対処するために、自然界に豊富に存在するメタン (CH<sub>4</sub>) をはじめ、エタン (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)、プロパン (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) などの有効活用の取り組みが始まっている。

メタンなどから有用な化合物をつくるには、大きなエネルギーと複雑なプロセスが必要だった。それを飛躍的に改善するのが夢の触媒の開発である。文部科学省は「多様な天然炭素資源を活用する革新的触媒の創製」を戦略目標に掲げ、JSTの「さきがけ」と「CREST」で触媒の研究に乗り出した。最前線を切り拓く、若手研究者たちの挑戦を紹介する。

「低温化」と「表面制御」  
独創的なアイデアでメタン変換

むらつぐ さとし  
邨次 智  
名古屋大学 大学院理学研究科 助教

豊富だが  
活用が難しいメタン

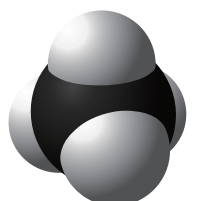
メタンは地下資源として豊富に存在するだけでなく、水田や廃棄物などのバイオマス資源からも得られる。化学製品の原料やエネルギー源として活用できれば、エネルギー資源の枯渇を防ぐことにもつながる。しかし、メタンは、ほかのアルカン類(コラム参照) に比べて強固な「炭素-水素結合(C-H)」や「炭素結合(C-C)」を含むため、物質としての安定性が高く、化学反応を起こしにくい。そのため、大量のエネルギーを必要とし、利用も限られてしまう。

例えば、メタンを有用な化合物の1つであるメタノール(CH<sub>3</sub>OH) に工業的に変換する際に、現在は、触媒を使って天然ガス(メタンが主成分)をまず水素(H<sub>2</sub>)と一酸化炭素(CO)の合成ガスに変換し、それからメタノールを合成する2段階のプロセスをとる。合成ガスへの変換過程では、炭素-水素結合を切るため700～800度以上の高温が必要で、エネルギーを大量に消費せざるをえなかった。



## アルカン

メタンやエタン、プロパンなど炭素と水素のみで構成される鎖状の飽和炭化水素。



メタンの空間充填モデル

## メタンを直接メタノールに

より少ないエネルギーとシンプルな反応工程でメタンを有用物質に直接変換する方法が模索されている。メタンをエチレンに変換する酸化カップリング反応や、メタノールに変換する部分酸化反応である。部分酸化反応は、次のような化学式で表すことができる。



メタンの4つの手の炭素-水素結合のうち1つだけを酸化させるという、一見するとシンプルな反応ではあるが、実現には2つの重要な過程がある。名古屋大学大学院理学研究科の邨次智助教は、この反応を効率よく行うための触媒と反応システムの開発に取り組んでいる。

「まず重要なのは、反応しにくいメタンの一部分だけを酸化させる過程です。全部酸化すると燃えて二酸化酸素になってしまうので、燃やさない程度に酸化させること。しかも、できるだけ低い温度でその反応を実現する触媒を開発することが最初の目標です。しかし、メタノールはメタンよりも反応性が高いため、メタンが酸化される環境だと、できたメタノールがさらに酸化されて別の化合物になってしまいます。これをうまく回避できる反応過程を確立することが次の目標です」。

## 新しい触媒を活用するアイデア

メタンの炭素-水素結合を直接酸化する触媒には、金属元素と酸素が結合した金属酸化物が考えられている。温度を上げると金属酸化物中の酸素が離れて活性化し、メタンに渡される。現在、世界中の研究者がさまざまな種類の金属酸化物を検討しているが、そのほとんどは酸素の活性化に300～500度前後の高温を必要とするものが多い。

最初の目標を達成するために、100度以下の温度での活性化をめざし、金属元素と酸素の結合にわざと歪みを持たせた金属酸化物を開発している。結合が歪んでいると物質的に

不安定になるため、より少ないエネルギーで酸素を活性化し、離れやすくなるのだ。

「さらに、活性化された酸素をメタンに渡しやすくてできる金属酸化物表面の設計を考えています」。この技術は邨次さんがこれまでに研究してきた専門分野で、画期的な触媒をめざしている。

次に、できたメタノールがさらに酸化されるのを防ぐには、メタノールを触媒表面からうまく離す方法を考え出さなければならない。この対策には、次のようなアイデアで挑む。

「メタノールが触媒表面にくっついているということは、何らかの電子的な相互作用があるはずです。そこで、触媒表面の状態を制御して、メタノールが離れやすければよいと思いました。ただし、ずっとその状態が続くと、メタンからメタノールへの変換反応も起きなくなってしまう。周期的に表面状態を変化させることで、メタノールができては離れ、できては離れというサイクルをうまく回すことができるのではないかと考えています」。

困難な課題に向き合い、  
発展させる

今、触媒の候補を絞り込んでいる。まだ多くのハードルがあるが、「新しいことを吸収してフィールドを広げながら、楽しく取り組んでいます」と笑顔を見せる。

『「さきがけ」は刺激的です。年に2回の領域会議(コラム参照)は、研究者、研究総括、領域アドバイザーの真剣勝負の場です。研究計画や進捗報告に対して厳しくも温かい意見や激

励をいただき、研究者として鍛えられていることを実感しています。また、「革新的触媒」領域はアドバイザーの先生がメンターとしてアドバイスや指導をしていただけるし、実際にアドバイザーの先生の研究室を訪問して新しい実験技術を習得させていただきました。同期の研究者もさまざまなアプローチでメタンに挑戦しているので、共同研究につなげることが可能であると共に、自身の研究も深められるのです。互いに切磋琢磨できる環境を生かしたいですね」。

研究者だった父親の背中を見て憧れ、この道に進んだという。「夢の触媒反応」といわれるメタンの直接変換の挑戦は、触媒の基礎研究でも意義がある。「困難な課題に向き合うことにサイエンスの意味がありますし、社会に役立つことにもつながります。この挑戦を通じて1つの領域を代表するような成果をめざしたいと思います」と意気込む。

## 領域会議

さきがけやCRESTでは年に1～2回程度、研究総括、領域アドバイザー、研究者が一堂に会し、研究発表や議論を行う「領域会議」を実施している。特にさきがけでは、会場に缶詰になり朝から晩まで徹底的に議論を行う。発表内容に不備があれば厳しい指摘が飛び交うことも。「発表前はどんな国際会議よりも胃が痛くなる」という研究者も。

## 理論と計算を駆使 さまざまな可能性を探る

つじ ゆうた  
辻 雄太  
九州大学 分子システムデバイス国際リーダー教育センター 助教  
もりた よしつぐ  
森田 能次  
九州大学 先導物質化学研究所 学術研究員(PD)

計算化学で  
有望な物質を見つけ出す

メタンを直接有用な化合物に変換する難題に、邨次さんとは異なる手法で挑むのが、九州大学分子システムデバイス国際リーダー教育センターの辻雄太助教と、先導物質化学研究所の森田能次学術研究員(PD)だ。2人は先導

物質化学研究所の吉澤一成教授が研究代表者を務めるCRESTチームの一員で、「計算化学が先導するメタン酸化触媒の開発と触媒設計技術の創成」に取り組んでいる。

計算化学とは、実験ではなく理論とコンピュータを駆使して、新しい触媒の開発をめざす。研究内容が高度になり複雑さを増し

ていることに加え、計算機技術の飛躍的な発展によって、自然科学の各分野で計算機と情報工学の活用が広がっている。辻さんと森田さんも、理論モデル、数式、データベースなどを用いてコンピュータによる計算で、メタンを直接メタノールに変換する触媒反応をシミュレーションし、触媒として有望な物質を見



つけることをめざしている。

### 情報化学で可能性を試す

テーマは同じでも、2人の手法はそれぞれ異なる。森田さんはゼオライトや金属を対象に新たなケモインフォマティクスを用いて触媒の設計に取り組む。

「ケモインフォマティクスとは、情報化学と訳されますが、化学と情報工学が融合した学際領域です。物質の構造と物理的な性質との相関関係をデータとして蓄積しておき、それを基に新しい化合物の性質を計算で予測します。私の研究では、メタンの炭素-水素結合と候補となる触媒の相性を反応熱と活性化エネルギーを指標としてデータベース化します。メタンを直接メタノールに変換する反応で重要な物質の特性やパラメーターを明らかにし、どのような物質ならうまくいくのか予測し、理想的な触媒の設計を狙っています」。

触媒候補となる化合物が無数にある中で、すべてを合成して実験しては時間がかかり過ぎる。「計算機なら、さまざまな可能性を自由に試すことができるので、難しい反応にも臆することなく挑戦できます。また、反応がうまくいった場合と失敗した場合の違いを定量的に明らかにすることは、反応メカニズムの解明につながり、効率的な触媒の開発にもつながります」と魅力を語る。

### 量子化学で挑む

一方、辻さんは金属酸化物やエレクトライド(電子化物)を対象に、触媒反応中の電子の働きに着目した理論で理想の触媒を見つけることをめざしている。エレクトライドとは、陽イオンと陰イオンが結びついたイオン結晶の中で、電子が陰イオンに置き換わったものを指し、さまざまな応用が期待されている物質だ。

「メタンを直接メタノールに変換するには、その前段階として酸素を活性化させること、そしてメタンの炭素-水素結合を切ることが必要です。酸素の活性化は電子の視点から見ると、酸素に電子を入れやすい状態と理解され、そうした物質の候補として、エレクトライドなどの可能性を探っています。また、メタンの炭素-水素結合を切るには、反応途中の活性化エネルギーを下げる必要があります。さまざまな化合物の表面と、メタン分子との相

互作用における電子の状態を計算で調べ、途中のエネルギーを下げるにはどのような物質が向いているのかを調べています」。

辻さんの研究の独創性は、理論で挑む点にあるという。「森田さんはケモインフォマティクス、私は原子と電子のふるまいから物性や反応性を解明する量子化学の視点から触媒の設計と解析をしています。この2つの異なるアプローチで、理論研究をさらに発展させることも、研究チームの大きな目標です」。

### 理論と実験を両輪に

理論からの触媒開発をめざす2人だが、実は森田さんは実験系の出身だ。大阪大学の林高史研究室で酵素のモデル研究に取り組んで学位を取得した。

「博士課程で、酵素の機能に関する理解を深めるために、計算化学が専門の吉澤研究室と共同研究を行ったのです。それがきっかけでもっと追求したいと、今年の4月からこの研究チームで計算化学を学びつつ研究を進めています。計算だけでなく実験もできるのが、私の強みです。林先生から教えられた、考えることの大切さと面白さ、吉澤先生による計算化学の魅力を融合させて、実験と計算をつなぐような存在をめざします」と力強く語る。

対する辻さんは吉澤研究室で学位をとり、

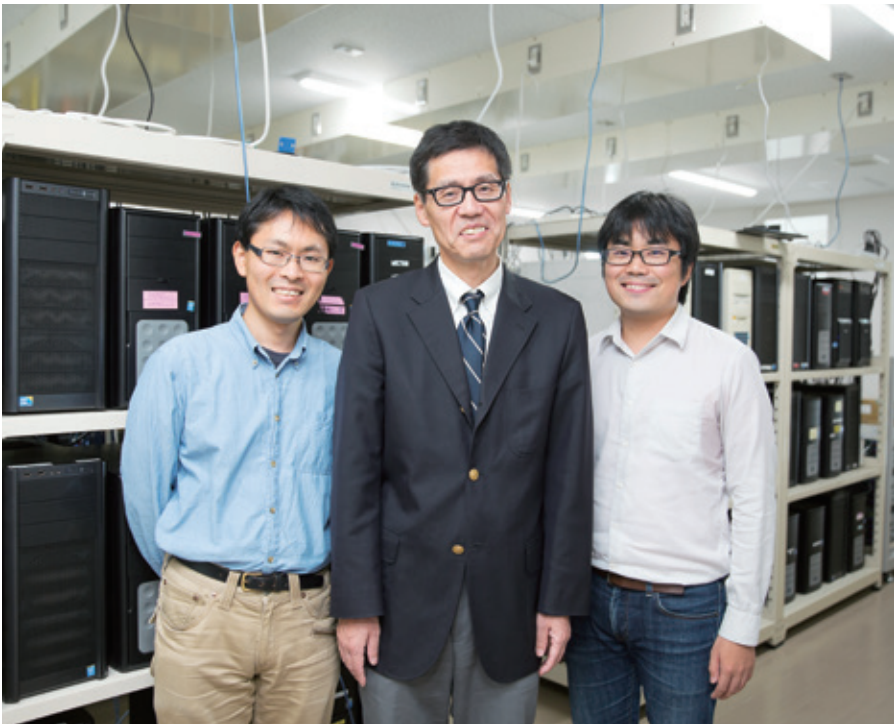
理論研究一筋に歩んできた。「私は分子の導電性や磁性などの物性の研究でした。触媒を扱うようになったことで、物性という静的なものから、化学反応という動的なものに変わったのは大きな変化です。研究者として視野を広げる機会をえました」。

博士号を取得した後、米コーネル大学に3年間留学し、福井謙一博士と共同でノーベル化学賞を受賞したロアルド・ホフマン教授に学んだ。

「ホフマン先生の業績は化学反応過程を支配する基本理論を明らかにしたこと。私もそのような研究者をめざします」と未来を見つめる。

理論と実験の両輪を可能にする場として、CREST、さきがけの機会は貴重だと2人は口をそろえる。「吉澤チームはCRESTの各チームやさきがけの研究者と積極的な連携を進めています。さきがけの領域会議にも参加しましたが、皆さんバラエティ豊かな材料を取り扱っていてとても刺激的でした。『こんな材料だったらすごい触媒ができるんじゃないか』と私たちが予測して、実際に実験の専門家がそれを形にする。そんな研究が生み出せたら最高ですね」。

計算から導き出す理論が、触媒研究のあり方を変えていくかもしれない。



左から辻助教、吉澤教授、森田学術研究員(PD)

## さきがけ「革新的触媒の科学と創製」研究領域の若手研究者たち

## 金属酵素を設計し、効率的な物質変換をめざす

### 研究課題「低級アルカンの物質変換を司る人工酵素の論理的開発」

低級アルカンを効率よくアルコールに変換する触媒として、たんぱく質を素材とする「酵素」に着目しています。酵素は健康食品などをイメージされる方も多いかもしれませんが、生物にとって非常に重要な物質です。呼吸で取り込んだ酸素は細胞内でエネルギーに変換されますが、この反応にも酵素が大きく関わっています。酵素は人体のような常温常圧の環境では本来難しい反応を進めて、有用な物質をつくることができ、産業への応用も広がっています。

その中でも金属酵素という内部に鉄やマンガ、ニッケルなどの金属イオンを含んだ酵素に着目し、それらと同様の機能を果たす人工金属酵素の開発、低級アルカンの物質変換の実現をめざしています。

人工金属酵素を作る方法は、一般的には(1)天然に存在する金属酵素を改変する方法、(2) 酵素でない金属たんぱく質を改変する方法、(3) 金属を含まないたんぱく質に人工金属錯体を導入して改変する方法に大別できます。私は、(2)と(3)を組み合わせた手法を採ります。おおざっぱに言えば、金属錯体やたんぱく質を積み木のように組み立てるイメージです。

そのために重要なのが、たんぱく質の設計です。計算化学の手法に実際の実験データを融合させ、反応で重要な要素を見極めながら、設計手法をめざしています。ただ、反応のみに着目していると、たんぱく質自体の安定性や構造に問題が出るなど、なかなか思い通りにはいきません。原因の追求とその根本的な打



大洞 光司(おおほら こうじ)  
大阪大学大学院 工学研究科 助教

開策と向き合いながら、実験と理論の両輪で解決をめざしています。

昔から理科全般が好きでしたが、特に化学、生命活動と分子の働きの関係に興味を持っています。生命現象も基本的には広い意味での化学反応の塊です。それらからヒントを得ながら、金属酵素を自在に設計することが目標の1つです。

人工金属酵素は触媒として新しいタイプで、難しい課題もあります。しかし、たんぱく質の構造の多様性は、研究対象として魅力的です。さきがけに採択された期待に応えられるよう、将来的に産業として役立つだけでなく、新たな「知」に展開できるような成果をめざして研究を進めていきます。

## 固体と有機のハイブリッドで新しい触媒を生み出す

### 研究課題「均一・不均一ハイブリッド強塩基触媒によるメタンのC-H活性化」

固体触媒と有機触媒の良いところ取りをした「ハイブリッド触媒」の開発を進めています。なかでも、金属酸化物という強く安定な固体に注目しています。金属酸化物は酸化・還元特性を向上させるための性質を制御しやすく、金属の種類によっては特異な機能を示すことが知られているからです。

この金属酸化物の特徴をさらに引き出すために、表面に有機物を付加することで、(1)酸化反応を引き起こす酸化力を高め、(2)有機触媒特有の反応の精密な制御を可能にしよう、というのが大枠のアイデアです。

ハイブリッド触媒では、金属酸化物上にメタンが吸着した時に、付加した有機物がちょ

うど良く当たる(反応する)かどうかのポイントです。そのような精密な触媒の設計に計算化学を専門とするさきがけ研究者とも連携しながら研究を進めています。

学生時代に野依良治博士がノーベル化学賞を受賞されたことがきっかけで、触媒に強い興味を持ちました。大学院修了後は、企業でも触媒の研究をしていました。触媒の強度や耐久性、コストといった大学ではあまり注目しないような実用化を意識した研究経験も今のさきがけ研究に生きていていると思います。

さきがけというバーチャルラボのなかで、研究総括、領域アドバイザーから助言をいただき、円滑でハイレベルな研究を進めることが



田村 正純(たむら まさずみ)  
東北大学大学院 工学研究科 助教

できています。アドバイザーの先生には産学問わず多様な分野から触媒のエキスパートが集まっており、サイエンスの中身だけでなく、開発中の装置の安全性といった点まで幅広いアドバイスをいただけるのもありがたいことです。また、メタンの直接変換という同じ志を持つさきがけ研究者と交流することで、お互いの研究を深化させられているなど実感しています。

まだまだスタートしたばかりで課題もありますが、日本の触媒研究の未来を担えるよう、領域一丸となって取り組んでいきます。



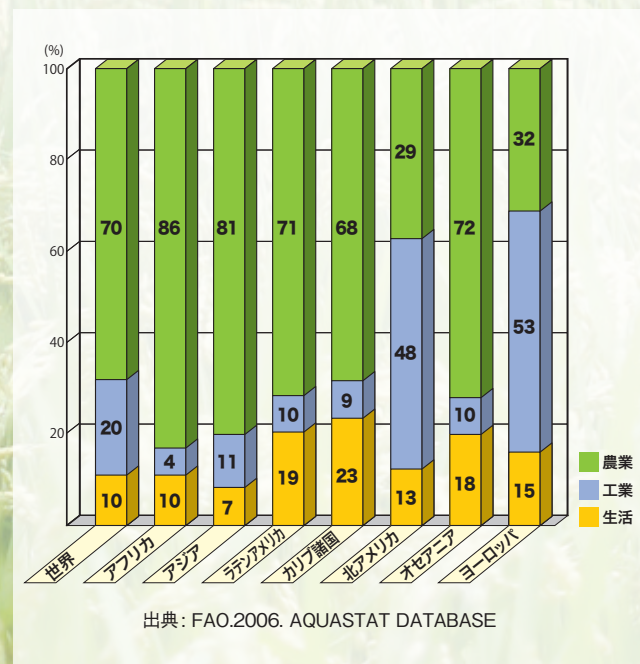
# 省エネルギー、超節水型の植物工場を開発する

世界の水消費の約7割が農業用水に使われている。しかも、人口の増加や工業化、気候変動などで世界的に深刻な水不足が起きている。

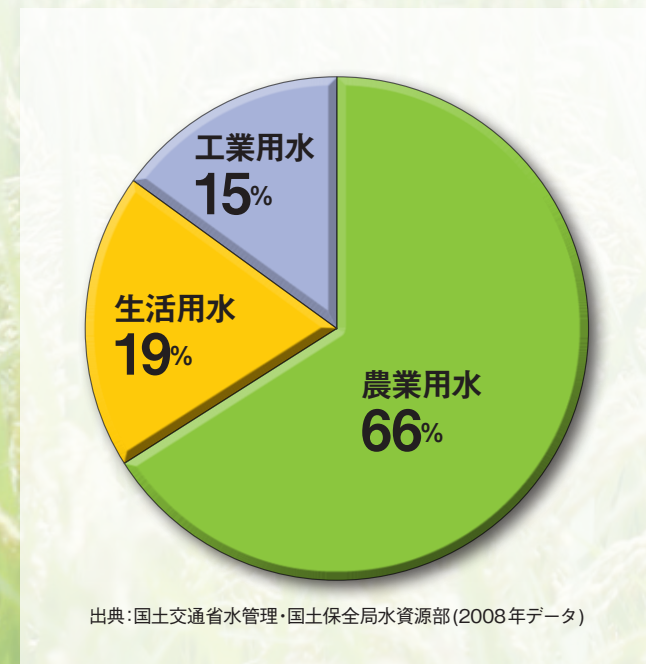
これまで水に恵まれてきた日本も例外ではない。日本でも河川水・地下水の約66%を農業に使っており、夏場の渇水による農作物の不作も目立ってきた。限られた水資源を有効に活用するために、省エネルギーで節水、再利用につながる新しい農業システムが求められる。

JSTのCREST「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」研究領域における「超節水精密農業技術の開発」では、東京農工大学、桐蔭横浜大学、東京大学の農工連携により、作物の根の周りにだけ給水し、作物が使った分だけ補給する「**地中灌水システム**」を極めることで、省エネルギー・超節水型の植物工場モデルづくりに取り組んだ。この技術は、ビルの中の都市型植物工場や、世界の乾燥地帯の節水農業にも広く応用が期待される。

## 世界の水の7割が農業用に使われている



## 日本も水資源の約66%が農業用水



## 作物と対話し、篤農家の知恵を生かす

古代よりため池などを築いて、狭い耕地を賢く利用してきた日本。CRESTの研究代表者、**澁澤栄**東京農工大学大学院農学研究科教授は、その知恵に学び、作物と対話することで、新しい省エネルギー・超節水型の植物工場をめざしている

### 10分の1の水で作物は育つ

「日本は、『砂漠の島』です」

澁澤さんの刺激的な発言でインタビューが始まった。急峻な山が多い日本は降った雨が一気に海に流れ、火山灰地は急速に雨水を吸い込むために地表は乾きさってしまう。しかし国土が砂漠にならなかったのは、数千年も前の縄文時代から先人が灌漑用水やため池をつくり、森や里山を整備してきたからである。しかし、高度経済成長期から水の需要が急増し、渇水による不作が増えている。いま、新しい発想の農業が求められている。

これまでの農業は、耕作地全体にまんべんなく水を供給してきた。そのため、地表から蒸発し、地下に浸み込む水が多かった。

「本当に作物が必要とする水はどの程度か、作物の周りにだけ効果的に給水できないか」と

考えた澁澤さんは、石川県農業短期大学助手時代の1985年に、「ファイトテクノロジー(植物生産工学)研究会」を立ち上げ、農学と工学の研究者が集まって科学的な探求を始めた。

「基本は『作物に聞き』『篤農家の知恵に学ぶ』ことでした。作物の成長過程に応じて必要とする水量や、農家が日照や水温に合わせて田の水位を調節する経験知などを、作物、植物生理学、計測工学、環境工学などで解明し、精密農業をめざすことをテーマにした」。

専門用語は独特でローカル性もある。農学、工学研究者が分野を超えて会話するための用語集をつくり、言葉を統一することで異分野の若手研究者をどんどん引き入れた。

1993年に農工大に移り、毛管現象を利用して根が吸った分だけ根の周りに給水する「**地中灌水システム**」を確立した。この技術をもとにトマトなどの栽培実験を行い、米国のネバダ大とも現地地でハニーサックル(ハーブの一種)の灌水実験を行うなど、幅広く研究を進めた。この地中灌水システムにより従来の10分の1の水で作物が育てられることを立証した。

### 被災地の復興農業、南米での米づくりにも貢献

一連の成果をもとに、澁澤さんらはCRESTに応募した。

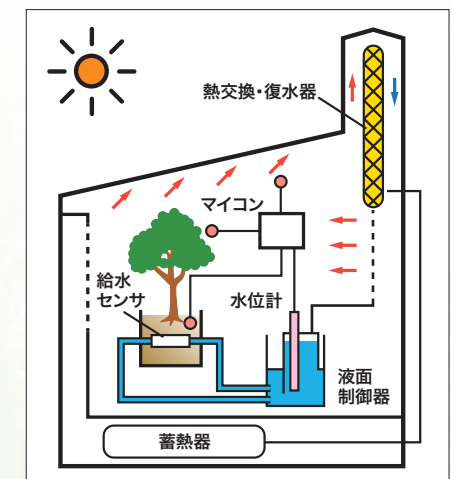
農工大にプロトタイプ植物工場を建てて、トマトやコマツナなどの栽培実験を行った。桐蔭横浜大学の杉本恒美教授のグループが、音波などを使って根の周りの水分の変化を精密に観測する技術に取り組んだ。澁澤さんら農工大のグループは根が吸い上げた分だけ水を補給し灌水量を60%減らす負圧差地中灌水方式を開発。東京大学の藤田豊久教授のグループが温室内で蒸発・蒸散する水の回収・再利用を含めた省エネルギー施設環境システムの開発を担当した。

5年間の研究を通じて、数か月にわたる無給水運転が可能な省エネルギー・超節水型の植物工場モデルを確立した。

研究成果は、実用化に向けて、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)のスマート農

業関連の研究、JSTのA-STEP(復興促進プロジェクト)の精密復興農業モデルの構築、JSTとJICA(国際協力機構)による「SATREPS(地球規模課題対応国際科学技術協力事業)」におけるラテンアメリカでの省資源稲作などのプロジェクトに広がっている。

「研究を通じて、ワールドワイドに研究者のネットワークが広がったことが大きいですね。コロンビアの稲作では省エネルギー、省資源化で国際競争力のある米づくりを実現したいと思っていますし、水資源が貴重な中東やアフリカでも超節水精密農業が期待できます。日本でも1980年代から植物工場に取り組んでいますが、省エネ、超節水型の植物工場とすることで産業としての可能性が拡大しています」と、熱く語った。



東京農工大学のプロトタイプ植物工場



実験風景(トマトの栽培)



01

## 研究成果

戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さきがけ)  
研究領域「二酸化炭素資源化を目指した植物の物質生産力強化と生産物活用のための基盤技術の創出」  
研究課題「イネ生殖分子機構の解明と操作を基盤としたアボミクシスへの挑戦」

## 天候に左右されない穀物生産に期待

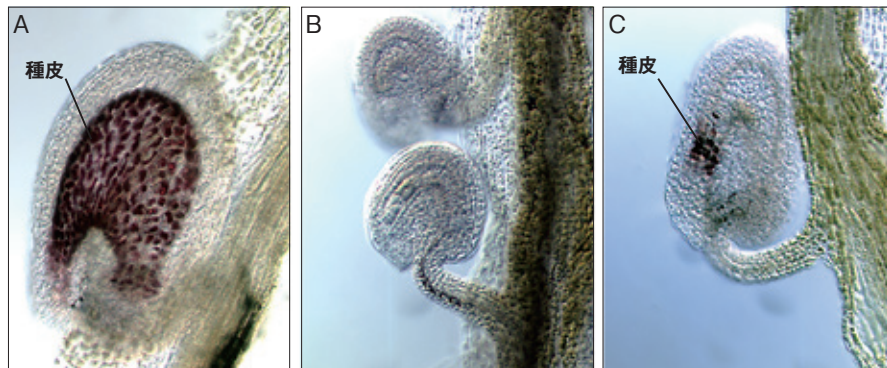
「日照りの時は涙を流し、寒さの夏はおろおろ歩き」——。農業技師でもあった宮沢賢治は「雨ニモ負ケズ」の一節で、厳しい自然に悩まされる苦悩を書きました。人類は主に、イネ、トウモロコシ、コムギを主食として生活していますが、これらの作物の収穫は気象条件によって左右されてきました。

被子植物は雄しべで作られた花粉を雌しべの先端に付着させて受粉します。受粉した花粉は花粉管を伸ばし、雌しべの中にある胚珠(種子の元になる部分)に2つの精細胞を送り届けて、受精を完了します。この時、2つの精細胞とともに花粉管内容物も胚珠内に届けられますが、この内容物の機能は全く明らかになっていませんでした。

JSTの笠原竜一郎さきがけ研究員らは、種子を大きくするのに花粉管内容物が関係しているのではないかと注目し、受精に失敗しても胚珠の中で花粉管内容物を放出するシロイヌナズナの変異体を用いて交配実験を行い

ました。その結果、花粉管内容物が放出された胚珠は受精していなくても細胞分裂をし、種子を大きくさせることを発見しました。さらに、種皮や胚乳も形成することがわかり、「胚珠は受精しなければ大きくならない」という植物界の常識を覆しました。

花粉管内容物のカギとなる因子が見つ



(A) 受精可能な花粉管が入って、受精が起こった胚珠。種皮が胚珠の大部分に形成されていることがよく分かる。(B) 花粉管が入っていない胚珠。花粉管が入らなければ、種皮が形成されない。(C) 受精不可能な花粉管が入った胚珠。受精は起こらずとも花粉管内容物が放出されているため、種皮の形成が確認できる。

02

## 研究成果

戦略的創造研究推進事業 チーム型研究(CREST)  
研究領域「ライフサイエンスの革新を目指した構造生命科学と先端基盤技術」  
研究課題「小胞体恒常性維持機構:Redox,  $\text{Ca}^{2+}$ , タンパク質品質管理のクロストーク」

## 細胞内のカルシウム濃度を一定に保つメカニズムを解明

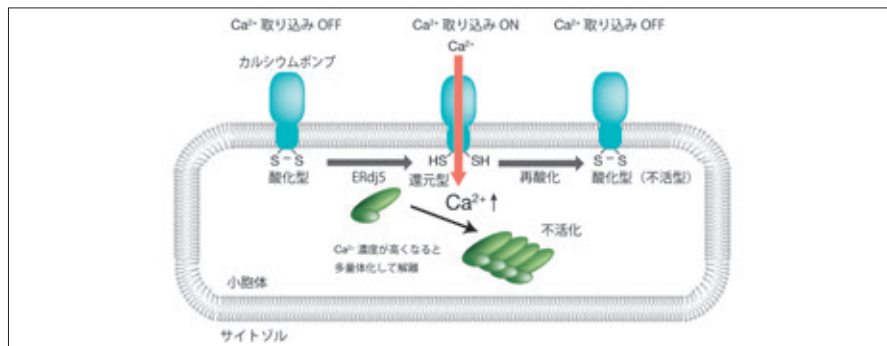
カルシウムは骨や、市販の健康サプリメントを連想する人が多いかもしれませんが、血液や細胞内にも溶け込んでいます。こうした溶液中ではカルシウムはイオンになっていて、私たちが生きていくために重要な物質の1つです。この細胞内のカルシウムイオン濃度が一定に維持されないと、細胞が正常に働けなくなり、心疾患や一部のがん、皮膚の異常、精神疾患につながることもあります。

京都産業大学の永田和宏教授、潮田亮助教、理化学研究所の御子柴克彦チームリーダー、宮本章蔵研究員、東北大学の稲葉謙次教授らのグループは、カルシウムの貯蔵庫である小胞体内に存在しているジスルフィド還元酵素ERdj5分子がカルシウム濃度センサーとして機能し、カルシウム濃度を一定に維持することを発見しました。

小胞体の内側と外側は膜で隔てられており、カルシウム濃度の差はおよそ1万倍。この膜上にあるカルシウムポンプによって、速やかに小胞体の内側へカルシウムを取り込み、細胞内のカルシウム濃度が一定に保たれます。小胞体内のカルシウムイオン濃度が低い

ときERdj5は活性化し、濃度が十分高くなると不活性化します。

細胞内カルシウムの恒常性維持機構の解明は、カルシウムの恒常性が破綻することで引き起こされるさまざまな病気の治療法開発に役立つと期待されます。



ERdj5を介したカルシウムポンプの活性制御。

03

## イベント

LCSシンポジウム2016「低炭素技術を取り込んだ街づくり」

## 先進技術を取り込んだ、産業発展と省エネを考慮した街づくり

医療産業は今後の発展が期待される分野です。一方、日本は2050年までに80%の温室効果ガス排出削減をめざしています。先進技術を取り込み、産業発展と省エネ・低炭素化を両立した街づくりが求められています。神奈川県立病院機構では、先進医療技術を活かしたコスト低減や省エネを通して、医療産業の発展に向けた取り組みを進めています。

がんの治療法の中で近年注目されているのが重粒子線治療です。重粒子とは、ヘリウムイオンよりも重い炭素やシリコンなどを指します。医療用には炭素イオンが使われ、大型の加速器で加速させて、体内のがん細胞を攻撃します。従来のX線放射線治療では、病巣以外の正常な組織にもダメージを与えていましたが、重粒子線は狙ったがん病巣部分にダメージをあたえ、正常な組織への影響を最小限に抑えることができます。さらに、照射回数の低減により治療期間の短縮が可能です。

神奈川県立病院機構神奈川県立がんセンター

は、昨年末から重粒子線治療を開始しました。欧米と比べて日本ではまだ広く知られていない重粒子線治療の利用者が増えれば、治療におけるリスク軽減および治療期間の短縮につながります。これは、医療現場の運営コスト改善にもつながると考えられます。一方、重粒子線治療施設および同施設の空調設備、さらに、今後実用化される医療技術の省エネが課題となります。



重粒子線治療室のロボット治療台。

素社会戦略センター(LCS)と意見交換をしながら、医療現場で求められる運用コスト低減や省エネについて取り組んでいます。

同病院機構の取り組みと共に、先進技術を取り込んだ、産業発展と省エネを両立した街づくりについて、土屋理事長らが12月13日(火)午後1時半から東京大学伊藤謝恩ホールで開かれるシンポジウムで講演します。入場は無料(事前登録制)。



炭素イオンを超高速に加速するため、直径20mもの大型の円形加速器が、この施設の半分以上を占めている。

● 詳しくは <http://www.jst.go.jp/lcs/sympo20161213>

04

## イベント

燃料電池に関するベトナムとの国際共同研究拠点がオープン

## メコンデルタの持続的発展に貢献する有機性廃棄物の高効率利用技術の開発に期待

ベトナムでは、急速な経済成長により、有機性廃棄物の増加による環境汚染および電力の安定供給が大きな課題となっています。九州大学水素エネルギー国際研究センター白鳥祐介准教授を中心とする研究グループは、有機性廃棄物を燃やさずに効率よく電力に変換して利用し、ベトナムの持続的な発展につなげようと努力しています。JSTとJICAの地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)で、2015年4月より、ベトナム国家大学ホーチミン市校(VNU-HCM)のナノテク研究所(LNT)と連携し、5年間の国際共同研究プロジェクト「高効率燃料電池と再生バイオガスを融合させた地域内エネルギー循環システムの構築」をスタートさせました。

本プロジェクトでは、メコンデルタ地域で定常的な電力供給が必要とされるエビ養殖場を開発

システムの実証サイトとして選定しました。養殖池汚泥やバガス(サトウキビの搾りかす)など地域特有の有機性廃棄物をメタン発酵させてバイオガスを製造し、これを固体酸化物形燃料電池(SOFC)に供給して高い効率で電力に変換し、養殖池に酸素を送り込むエネルギーとして利用するシステムの開発・実証を行います。

この活動に対して、相手国政府の支援により、



燃料電池研究開発棟に設置された評価装置群。

ベトナム初の「燃料電池研究開発棟」がホーチミン市校内に整備されました。研究棟内には、SATREPSの支援により、発電評価装置、高分解能電子顕微鏡など、燃料電池の研究開発に欠かせない装置群が整えられています。

今後は国籍・分野を問わず、低炭素社会の実現を志す研究者、技術者、学生が集うことで、新たな国際連携の拠点になると期待しています。



燃料電池研究開発棟完成式典の様子。



# さがける 科学人 vol.56

## 四反田 功

Shitanda Isao

東京理科大学理工学部 講師



**プロフィール** 神奈川県相模原市出身。2001年、東京理科大学理工学部工業化学科を卒業。06年、東京大学大学院工学系研究科先端学際工学専攻で博士(工学)を取得。同年4月に理科大理工学部助教に着任し、10年4月から在外研究員としてカリフォルニア大学サンディエゴ校に1年間留学。12年より現職。趣味は読書と息子たちと遊ぶこと。

## 映画で見た未来の車が魂に火をつけた

### 酵素のインクで紙の上に電池を印刷

科学者ドクが開発した車に、主人公マーティが飲みかけのコーラを注ぐと、爆音をたてて車が急発進——映画「バック・トゥ・ザ・フューチャー」の最初の脚本に描かれた1シーンです。燃料となるコーラの糖分を、生物から取り出した酵素が分解して発電し、車を動かす。これこそ「バイオ燃料電池」の理想だと思っています。

水素などを燃料とする燃料電池車は、レアメタルを使った触媒や、正極と負極の反応液を隔てるセパレーターが高価なことが課題です。一方、バイオ燃料電池は、出力はまだ遠く及びませんが、触媒の代わりに微生物が作る安価な酵素を使い、正極と負極に別の物質に反応する酵素を置くためセパレーターが不要。さらに回路を自由に設計できます。

この自由度を生かし、昨年、回路を5センチ四方ほどの紙面上に印刷した「おむつ型センサー」と「絆創膏型センサー」を試作しました。体液中の糖分や乳酸を分解して発電し、外から燃料や電力を与えずに、尿や発汗量の情報を送るのです。出力は低くても、省電力技術が向上したおかげで無線伝送をまかなえます。製品化されれば、介護や工事現場での熱中症対策に役立つはず。実際に、JSTの新技术説明会

後には企業からの問い合わせが相次ぎました。

遊びやユニークさを重視する理の心と、実用化を重視する工の心を常に大事にしています。ユニークさは、印刷するインクと基材にあります。メッシュの隙間からインクを擦りつけるスクリーン印刷では、どろどろの液体もさらさらの液体も印刷でき、酵素や微生物を印刷することもできます。基材にはプラスチックやセラミックではなく紙を選びました。

印刷しやすく大量生産が可能で、使い捨てできるほど安く、焼却処分もしやすいと利点はたくさん。競合相手より高い出力を出したのが自慢です。さらに安くて軽くて動きやすい製品まで、あと一息です。

### 世の中面白いことだらけ

迷ったら、面白いと直感する道を選びます。歴史に興味があったので、大学は文系学部に進む予定でしたが、高校3年生の4月に後先顧みず理系に転向しました。化学実験の面白さが忘れられなかったのです。初めて受けた化学の模擬試験は、見事な落第点。へこみましたが、楽天的な性格で乗り越え、理科大に進みました。

博士課程に進んだのも直感です。両親や友人にすねかじりとかからかわれても、好きなことを続けられる期待で気持ちは高ぶっていました。

面白いものなら何でも大歓迎。行く先々でいろいろな分野に手を出してきました。大学時代は新しいめっきに、大学院で進んだ東大ではバイオセンサーに、留学先のカリフォルニア大学ではナノモーターに、教員として戻ってきた理科大ではバイオ燃料電池と印刷技術の組み合わせに一。今も面白いと思ったらすぐに、学生と一緒に試します。おかげで、指導する20名ほどの学生のテーマはばらばら。専門は「電気化学」ですが、その広い分野をかなり網羅しています。ここまで広い分野に手を染めるのは珍しいと、共同研究者に驚かれます。

実は、毎週子どもと遊びに行く先も、その日の直感で決めます。よく行くのは工場見学。時には子どもそっこのけで、醤油工場で麹菌の顕微鏡写真に釘付けになったり、ラベンダー畑で蒸溜塔の構造図から内部で起こる化学反応を想像したり。いやあ、面白いことだらけですね。

映画のドクを超えるくらいの勢いで、これからも自分の直感を信じて、出合う刺激を楽しみながら、ユニークな道を突き進むつもりです。

(JST広報課・松山桃世)

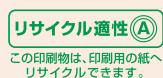


食品会社から航空会社まで、毎週のように家族で出かける工場見学が趣味。

### 研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP)

研究開発テーマ「IoT、ウェアラブル・デバイスのための環境発電の実現化技術の創成」  
研究課題「バイオ燃料電池を搭載したウェアラブルヘルスケアデバイスの創成」

環境や身体に安全な酵素を利用し、体液中の糖分や乳酸から電力を取り出すバイオ燃料電池を開発します。さらに、その出力を使って体液中の成分を測る、自己駆動型のウェアラブルヘルスケアデバイスを開発します。アスリートの疲労管理や真夏時の熱中症の見守りに応用するため、薄くて軽く装着感を感じさせない、低価格な製品開発をめざしています。



280

古紙(パルプ配合率80%)再生紙を使用

# JSTnews

December 2016

発行日／平成28年12月1日  
編集発行／国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)総務部広報課  
〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ  
電話／03-5214-8404 FAX／03-5214-8432  
E-mail／jstnews@jst.go.jp ホームページ／http://www.jst.go.jp  
JSTnews／http://www.jst.go.jp/pr/jst-news/



最新号・バックナンバー