# 頭の体操 Quiz

## Q01

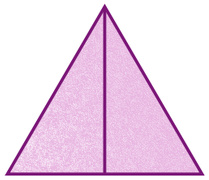
右の3枚の札をそれぞれ1回使って、正しい式にするには？

＋　－　÷

4　3　2　1 ＝ 10

## Q02

4本の直線で三角形は2つ作れます。
では、5本の直線で三角形を5つ作るにはどうすればよい？



### 前回の答え

● Q1
？（Rの位置）に入るのは何円玉？

答え … 50

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| A | B | C | D | E |
| F | G | H | I | J |
| K | L | M | N | O |
| P | Q | R | S | T |
| U | V | W | X | Y |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 10 | 50 | 100 |
| 10 | 50 | 100 | 1 | 5 |
| 100 | 1 | 5 | 10 | 50 |
| 5 | 10 | 50 | 100 | 1 |
| 50 | 100 | 1 | 5 | 10 |

25マスをA〜Yとした場合、
Kが100円、Uが50円が確定。
Mが5円、Iが1円、Qの10円も確定。
次いで、Lが1円、
Nが10円も確定できる。
続いてGの50円、Vの100円、
Hの100円、Jの5円も確定。
残りの並びから
Rの50円が確定できる。

● Q2 1本だけ動かして正しい式にするには？

答え … －3＋5＝2

9の右上を「－」として使う

※問題の詳細はTech Tech 28号の裏表紙をご確認ください。

## アンケートに答えて、解答＆プレゼントをゲット！

左のコードを読み取ってください。または、下記のURLにアクセスしてください。
https://form.gsic.titech.ac.jp/koho/techtech/techtech29/form01.html

※応募者の中から5名の方にTech Techオリジナルグッズを差し上げます。 ※当選者の発表は発送をもって代えさせていただきます。（2016年9月9日締切）

## CONTENTS


2 Labo 01
環境材料 界面科学で地球を救う
大学院理工学研究科材料工学専攻
中島 章 教授

6 Labo 02
オートファジー
命をつなぐ細胞内のリサイクル機能
フロンティア研究機構
大隅 良典 栄誉教授

10 東工大の研究で変わる、わたしたちの「暮らし」

12 今を創る先輩がいる。
全日本墓園協会 主任研究員
横田 睦 さん

14 学生企画
東工大生の7類道具


## 表紙の写真

超撥水加工された材料の表面に水滴を落とし、その様子をハイスピードカメラで連写したもの。つくった材料に対して水滴がどう接するのか、水滴の形状変化も観察・測定する。

## 東工大情報はココ!!

● 入試に関すること

**学務部入試課** TEL▪03-5734-3990

**学士課程の入試に関すること**
URL▪http://admissions.titech.ac.jp/
Mail■nyu.gak@jim.titech.ac.jp

**大学院の入試に関すること**
URL▪http://www.titech.ac.jp/graduate_school/index.html
Mail■nyu.dai@jim.titech.ac.jp

● 広報誌・Webページに関すること

**広報センター**
URL▪http://www.titech.ac.jp/about/organization/public.html
Mail▪publication@jim.titech.ac.jp TEL▪03-5734-2975

● 東工大広報誌の配布場所

**大岡山地区広報コーナー**
**百年記念館1F〈大岡山キャンパス〉**
URL▪http://www.cent.titech.ac.jp/

**東工大蔵前会館 1F インフォメーション〈大岡山キャンパス〉**
URL▪http://www.somuka.titech.ac.jp/ttf/

**すずかけ台地区広報コーナー**
**すずかけホール H2棟 1F〈すずかけ台キャンパス〉**

● 東工大ホームページ
URL▪ http://www.titech.ac.jp/

● 高校生・受験生向けサイト
URL▪ http://admissions.titech.ac.jp/

東京工業大学
Tokyo Institute of Technology


Tech Tech テクテク
Tech Tech No.29 2016年3月発行

発行／東京工業大学広報センター 〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1 TEL▪03-5734-2975 FAX▪03-5734-3661 発行人／東京工業大学広報センター長
編集委員／奥山信一・鵜飼佐奈 企画・編集 東京工業大学広報センター
学生企画／武石桐生（代表）・阪野美冬・大島健太郎・斎藤樹・松沢祥平・宇山拓夢・前田浩輔・高野成章・吉田有沙・熊谷菜々・矢田眞由・野村栄太郎・壹原星弥・松山紫帆
製作・アートディレクション／株式会社コンセント（高橋裕子・荒尾彩子・前田麗穂・小山純・白川祥子・戸塚香里・山崎貴史） ライター／近藤智子・萩原麻田子 フォトグラファー／名和真紀子・片柳沙織



©2016 東京工業大学


# Tech Tech テクテク

2016 SPRING No.29

東京工業大学の
リアルを伝える情報誌

Labo 01
# 環境材料
## 界面科学で地球を救う

Labo 02
# オートファジー
## 命をつなぐ細胞内のリサイクル機能

図1
**表面の凸凹による撥水状態の違い**




撥水表面が凸凹になると、表面と水滴との間に空気が噛み込むようになる。その結果、実際に水滴が表面に接している面積は大幅に小さくなり、ほとんど抵抗なく転がるようになる。高い撥水性を示す植物の葉（ハスなど）の表面を電子顕微鏡で見てみると、こうした凸凹が何重にも組み合わされた複雑な形になっていることが確認できる。

Labo 01

# 環境材料

## 界面科学で地球を救う

環境問題は人類共通の課題。未解明の部分も多い
「表面/界面科学」からのアプローチで、これまでになかった材料をつくり、
地球環境を大きく改善する新しい可能性を探る。
そんな材料科学のフロンティアを切り開く研究が進められている。

### 環境材料の研究に、「表面/界面」からアプローチ

温暖化や大気汚染・水質汚染といった地球環境問題がいよいよ深刻化するなか、対策の切り札となる新技術への期待が高まっている。この環境問題の改善・緩和に“材料”の視点から取り組んでいるのが、大学院理工学研究科 材料工学専攻の中島・松下研究室だ。

「“環境材料の研究”というと、リサイクルしやすい材料や自然に分解される材料など、環境に調和した材料を開発することだと思う人が多いかもしれません。でも役割は、実はそれだけに留まらない。例えば大気中や水中にある有害物を分離・分解したり、微量有害物の測定を可能にしたり、$CO_2$の排出抑制や省エネルギーに役立ったり——。こうした環境問題に直接貢献できる材料の開発や、省エネルギー化を実現するプロセスの研究は、すべて環境材料の研究であると私たちは考えています」

この非常に広範な研究を進める上で、中島・松下研究室が着目しているのが「表面/界面科学」のアプローチだ。物質の表面/界面は光・熱・電子などとの直接的な接点であり、様々な化学反応が起こる「場」でもある。その構造や組成を上手く制御すれば、固体に本来はない性質を付与したり、固体が持っている性質をさらに高めることが可能になる。

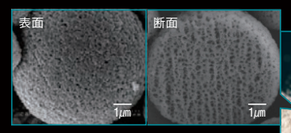
「物質の表面は外界とのインターフェースであるため絡む要素も多く、また内部とは異なる構造を持つことも珍しくない。ミクロの構造の違いが目に見えるマクロな機能の違いとして出るという特徴もあります。そこが研究の面白さでもあり、難しいところでもありますね」(中島教授)

そうした特徴から、近年では物質の電子構造に基づくナノレベルの研究が主流となっており、原子の挙動や安定性までに踏み込んだ研究で多くの成果が生まれているという。

### 「ものつくり」と「評価」を両輪に新素材を作製

中島教授が主に扱っているのは、環境浄化光触媒や撥水・親水材料だ。例えば光触媒である酸化チタンは、光が当たると地球上のほぼすべての有機系有害物を二酸化炭素と水に分解し、大気や水を浄化する。また、水をはじく撥水材料は、環境材料として幅広い可能性を持っている。

「超撥水の『物が付着しない』という性質を上手く応用すると、摩擦や熱によるエネルギーの損失を防ぐことができます。例えば船の壁面を加工すれば、造波抵抗が減るため燃料を節約でき、また工場機器などのパイプの内側に水や油が付着するのを防げば、効率良く物質を運べるようになって余計な電力もかからないわけです」(中島教授)



金属酸化物を用いた多孔質球状粒子。一見すると白色の粉末だが形状は球状で、表面から内部に10nm程度の孔が無数に空いている。有害物の吸着能力に優れ、紫外線照射下で光触媒作用により、吸着した有機系有害物を効果的に分解することができる。

では、この超撥水はいかにして実現されるのだろうか。自然界にはハスの葉の上などで水滴が転がるという現象がある。これは葉の表面にある微細な凸凹に水をはじく働きがあるため。そこで様々な有機・無機材料の表面に凸凹をつけて水をはじく力を上げ（図1）、さらに撥水性の高いフッ素系、アルキル系の物質などをコーティングしていく。極めて小さいサイズでの凸凹構造の制御とコーティング剤の選択、配合、コート法などがポイントになる。


大学院理工学研究科 材料工学専攻

Akira Nakajima
**中島 章** 教授
（写真中央）
1985年、東京工業大学無機材料工学科卒業。1987年、同大学院無機材料工学専攻修士課程修了。日本鉱業株式会社での勤務を経て、1997年 ペンシルバニア州立大学大学院材料科学専攻博士課程修了。東京大学先端科学技術研究センターなどを経て、2003年、東京工業大学助教授。2009年より現職。

Sachiko Matsushita
**松下 祥子** 准教授
（写真左）
1996年、東京大学工学部卒業。2000年 同大学院工学系研究科応用化学専攻博士課程修了。理化学研究所基礎科学特別研究員、同フロンティア研究システム研究員、日本大学文理学部物理生命システム科学科准教授などを経て、2010年より現職。

Toshihiro Isobe
**磯部 敏宏** 助教
（写真右）
2003年、名古屋工業大学大学院修士課程修了。2006年、東京工業大学大学院博士後期課程修了。2006年、国立研究開発法人産業技術総合研究所産総研特別研究員。2008年、東京工業大学材料系グローバルCOE特任助教。2010年より現職。

固体表面を水滴が転落する速度を調べるため、独自に設計した評価装置（液滴転落挙動解析システム）。側方と上方に設置した2台のハイスピードカメラを同期させ、水滴の形状変化も測定。アルゴリズム開発も含め約2年かけて設計した。

研究の過程で要になるのは、「ものつくり」と「評価・解析」だ。

「狙った機能を出すために、試料を細かくしたり、緻密に配列して狙った組成・構造の材料をつくる。このものつくりの部分は研究に欠かせません。また、研究を進める上では、つくった材料を評価するという部分も大切。日本の材料工学が世界をリードしているのは、評価技術が優れているのも理由の一つです。私がかつて米国へ留学して驚いたのは、向こうの評価装置がほとんど日本製だったことでした。日本では装置のねじ1本から自前で製作できる。当研究室でも、物体表面での水滴の挙動を調べるため、アルゴリズム開発なども含め、2年がかりで評価装置を自主設計しました」（中島教授）

## 新しい熱電発電と $CO_2$ 分離法で温暖化を抑制

松下祥子准教授の研究テーマは、エネルギー変換や、ナノ光学を利用した有害微量物質のセンシングなど。なかでも注力しているのは、化学反応を利用した新しい熱電システムの開発だ。

「半導体に熱を加えると、マイナスの電荷を持つ電子と、プラスの電荷を持つ正孔が界面に発生します。一般的な熱電発電では、半導体の一方を高温、一方を低温にし、電子と正孔の流れをつくり、それを上手くコントロールして発電を行います（図2）が、この方法だと温熱源のほかに冷熱源も必要になり、発電に必要なエネルギーも増えれば設置場所などの制約も大きくなる。そこで化学的に電子の流れを生み出す材料をつくり、高温の場所に設置するだけでエネルギーを取得できるようにしたいと考えました。界面科学ではナノレベルで研究を行うのですが、物質は小さくなると不安定になり、高温になればさらに不安定さが増します。上手く安定した状態を保てるよう苦心しています」（松下准教授）

図2

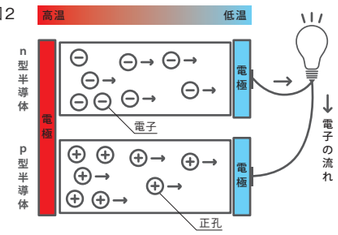
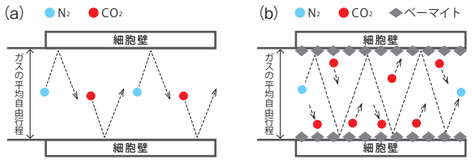



図3




一方、磯部敏宏助教が力を入れているのが、多孔質セラミックスを使った $CO_2$ 分離技術の開発だ。セラミックスにナノレベルの孔を多数空けてスポンジ状にし、孔の表面をベーマイト（一水和アルミニウム酸化物）でコーティングすることにより、運動している $N_2$（窒素）と $CO_2$ の移動スピードの差を利用して分離を行う（図3）。この技術は、現在注目されている $CO_2$ の地下貯留や海底貯留、再利用といった計画の肝になるものだ。

「大気中にある $CO_2$ を分離・回収するのはコスト面からも困難ですが、発電所などから $CO_2$ が放出される前に分離できれば、短期間で $CO_2$ の排出を大幅に削減できます」（磯部助教）

これまでもポリマー性の分離フィルタなどはあったが、熱に弱く発電所などで使うのは難しかった。熱に強いセラミックフィルタならそれが可能になる。

「周期表のすべての元素を扱えるのがセラミックス研究の特徴です。有機材料や金属などの素材に比べると研究の歴史が浅いぶん、発見の余地が多いのも魅力ですね」（磯部助教）

左：表面／界面とプローブ間に働く弱い力を検知するためのセットアップ装置。右：表面／界面の微細な構造や電位分布を、小さな針（プローブ）を使って計測評価する装置。

## 環境改善への熱い思いでつながる

研究をする上で3人の先生が心がけているのは、周辺領域を幅広く勉強し、現場に目を配ることだ。例えば実験を行っている学生の話も、起きている現象の本質を掴む上で大いに参考になるという。もうひとつ共通しているのは、粘り強く前向きに研究に取り組む姿勢だ。

「苦労して材料をつくっても、狙いとは違った性質が出てしまうことは多々あります。そうしながらも研究を続けていると、『この問題について、自分が世界で初めて理解できた』と思える瞬間が来る。ただ、その瞬間は待っているだけでは訪れません。諦めなければ研究は必ず前進する、と信じて努力を続けることが大切ですね」（中島教授）

ハードな研究の日々のなかで前向きな姿勢を保ち続けていられるのは、「環境を良くする」という熱い思いを共有しているから。松下准教授も、「毎日、宝探しのような試行錯誤を続けているとくじけそうになることもありますが、そんなときも娘の笑顔を見ると、『この子たちが安心して暮らせる環境を』と考えて研究に力が入ります」と語ってくれた。

人間の強さの源のひとつは、科学や技術を持っていること。科学者が諦めてしまったら、人類の歩みがそこでストップしてしまう——。中島・松下研究室のメンバーは、そんな使命感を持って環境問題に取り組んでいる。共通テーマである表面／界面科学の特徴は、ミクロな違いがマクロな機能の違いを生み出すこと。東工大の研究室という、いわばミクロな場所での研究が触媒となって、地球環境の改善というマクロなテーマに大きなインパクトを与えられるように、これからも研究は続いていく。

## Student Interview

### 鶴岡　あゆみ（つるおか・あゆみ）

大学院理工学研究科 材料工学専攻　修士1年

**熱による新しい発電を研究**

高温での化学反応を利用した発電方法の研究をしています。3種の異なる性質を持つ試料を接合する界面制御が難しく、海外の文献なども参照しながら試行錯誤しています。

**地球環境問題に貢献できるやりがい**

環境浄化やエネルギー問題に貢献できる研究がしたいと考えていたので非常にやりがいがあります。卒業後も、温暖化の解決に役立つ研究・開発を企業などで続けたいです。

### 高橋　宏和（たかはし・ひろかず）

大学院理工学研究科 材料工学専攻　修士1年

**チタン製フィルタで水と油を分離**

チタンの表面に微細な孔をあけたメッシュ状構造の作成と、その特性の研究をしています。表面に水をはじく疎水性の物質を塗ることで、水と油を分離するフィルタをつくることもできます。

**ものつくりの結果を目で見られる**

データの計算だけでなく、実際にものつくりをしてその特性を調べられるのが面白い。水と油がフィルタできれいに分離されるなど、実験の成功が目に見える形で現れると嬉しいですね。

Labo 02

# オートファジー

## 命をつなぐ細胞内のリサイクル機能

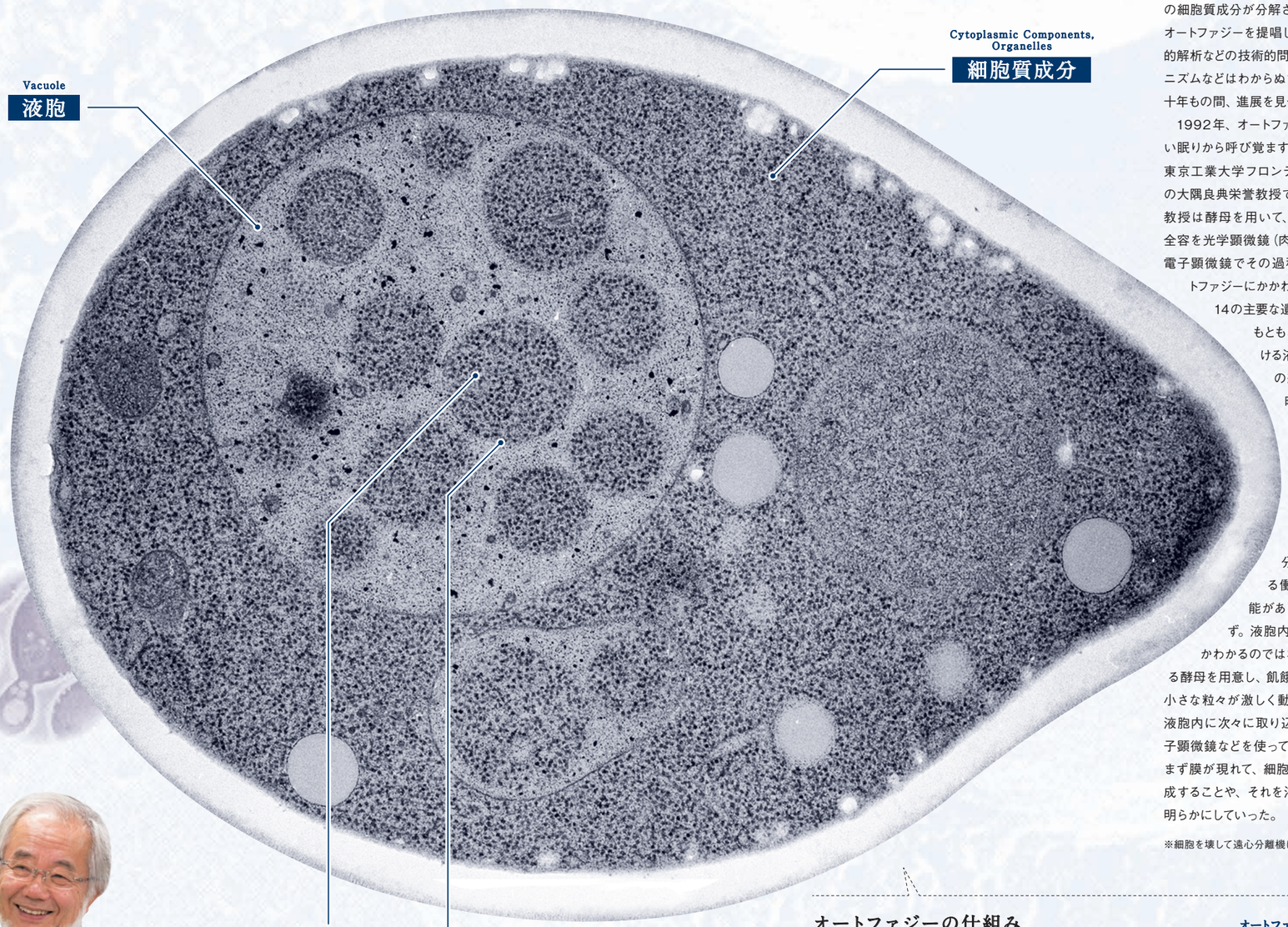
**年間3000本以上の研究論文が発表される生物学のテーマがある。「自ら(Auto)」を「食べる(Phagy)」という意味を持つ「オートファジー(Autophagy)」だ。パーキンソン病など神経変性疾患にも関係すると言われ、その研究は今、世界中で大きな注目を集めている。**

### 小さな細胞内で繰り広げられるダイナミックな生命活動

生命活動に必要なタンパク質は、DNAに従って合成されている。分子生物学の基本概念となる「セントラルドグマ」だ。この緻密なプロセスによって、体内では1日におよそ200gのタンパク質が作られる。材料となるアミノ酸は、食べ物から消化・吸収するが、人間が摂取しているタンパク質の量は70gほど。足りない分は、一体どこから調達しているのだろうか。

その答えを解くカギのひとつが、今回取り上げる「オートファジー」である。細胞が自らの細胞質成分（合成したタンパク質など）を食べて分解することでアミノ酸を得る機能で、細胞内の「リサイクルシステム」とも言われている。

例えば1日絶食すると、肝臓の体積は約7割に縮小するという。絶食時、肝臓では生命を維持するためにオートファジーが活発に行われているのである。数日間食べなくてもすぐに死んでしまうことがないのは、このためだ。




### 脇役だった「液胞」への着目がオートファジー研究の扉を開ける

近年注目が高まるオートファジーだが、その歴史は半世紀以上前に遡る。名づけ親は、ベルギーの生化学者のクリスチャン・ド・デューブ博士。博士は細胞分画法※によって、リソソームやペルオキシソームといったオルガネラ（細胞内小器官）を発見。その後リソソームの持つ加水分解酵素によって同じ細胞内の細胞質成分が分解されている様を確認し、オートファジーを提唱した。しかし生化学的解析などの技術的問題から、そのメカニズムなどはわからぬまま、研究は何十年もの間、進展を見せなかった。

1992年、オートファジー研究を長い眠りから呼び覚ます人物が現れた。東京工業大学フロンティア研究機構の大隅良典栄誉教授である。大隅栄誉教授は酵母を用いて、オートファジーの全容を光学顕微鏡（肉眼）で初めて観察し、電子顕微鏡でその過程を解明。翌年からオートファジーにかかわる遺伝子の特定に取り掛かり、14の主要な遺伝子「ATG(AuTophaGy)遺伝子」を発見した。

もともと大隅栄誉教授が研究していたのは、酵母における液胞の働きだった。液胞は、植物では細胞全体の約90%を占めるにもかかわらず、1980年代当時「不活性なオルガネラで、細胞内にあるゴミ溜め」程度にしか考えられていなかった。「誰も注目していなかったから」と液胞を研究テーマにした理由を語る大隅栄誉教授は顕微鏡観察が大好きなのだと言う。液胞は、光学顕微鏡で見ることができる唯一のオルガネラだった。

大隅栄誉教授は、液胞がリソソーム同様に分解酵素を豊富に含んでいることから、分解する働きを持っていると予測した。「液胞に分解機能があるとすれば、飢餓状態でもっとも活発に働くはず。液胞内での分解を止めれば、何がどう分解されるのかわかるのではないか」と考え、あえて分解酵素が欠損している酵母を用意し、飢餓状態の液胞を観察していた。すると液胞内で、小さな粒々が激しく動き回っているのを確認。それは細胞質成分が液胞内に次々に取り込まれている様子であった。この発見から、電子顕微鏡などを使ってさらに研究を進めていく。オートファジーでは、まず膜が現れて、細胞質成分を包み込み「オートファゴソーム」を形成することや、それを液胞内に取り込んで分解しているという全容を明らかにしていった。

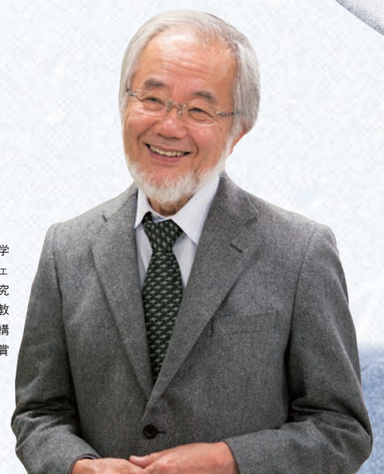
※細胞を壊して遠心分離機にかけ、オルガネラを種類ごとに集める方法

### 毎秒300万個つくられる赤血球

人間の体を形成する細胞は、およそ60兆個。「へぇ」と驚いたその1秒間で、例えば赤血球だけでも300万個が作られ、同じ数だけ壊される。天文学的規模でのダイナミックな活動が、あなたの体で、絶え間なく繰り返されている。

### オートファジーの仕組み

細胞中に膜が現れ、分解対象となる細胞質成分を包み込んで二重膜構造体の「オートファゴソーム」を形成する。その外膜が液胞膜と融合し、内膜構造体「オートファジックボディ」が液胞内へ。液胞内の分解酵素が内膜を破壊し、内容物も分解される。




Yoshinori Ohsumi

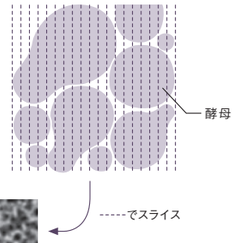
大隅 良典 栄誉教授

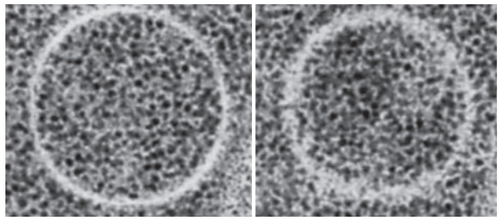
**フロンティア研究機構**

1967年東京大学教養学部卒業。1972年東京大学大学院理学系研究科博士課程単位取得満期退学。米ロックフェラー大学博士研究員、東京大学助教授、基礎生物学研究所教授を経て、2009年東京工業大学統合研究院特任教授に就任。翌年、組織改組を受け、フロンティア研究機構特任教授に。2012年京都賞、2015年ガードナー国際賞など受賞歴も多数。2015年、文化功労者に選出。

## 全長約5μmの酵母内部を観察する

光学顕微鏡の約500倍の拡大率を持つ電子顕微鏡を使う酵母内部の観察には、下処理が必要になる。液体窒素で瞬間凍結し、生きた状態で固定した酵母の集団を樹脂に埋め込む。これを50nmの薄さで切断できる「マイクロトーム」でスライスする。



オートファゴソームの連続切片（スライスした断面）。ちょうどよいところで切れた断面（写真左）は、膜がクリアに見える。少しずれると（写真右）、膜がはっきり観察できない。

オートファジーの分子機構を明らかにするため、大隅栄誉教授は次のような方法で研究を展開した。まず薬品処理によって、酵母のDNAにランダムに傷をつける。するといろんな箇所の遺伝子に傷が入った酵母の集団ができるので、そこから“オートファジーが起こらない”変異株を光学顕微鏡でひとつひとつ地道に探す。この実験で、14個のATG遺伝子＝オートファジーにかかわる遺伝子が特定されることになる。後の研究でATG遺伝子は全18個とされた。

## 期待が高まる一方、基本メカニズムは依然謎だらけ

ATG遺伝子が特定され、これらの遺伝子で合成されるタンパク質（Atgタンパク質）がわかったことで、研究は一気に広がりを見せた。哺乳類などの動物細胞におけるオートファジー研究が世界中で行われ、ガン細胞の抑制や病原体の排除、細胞内の浄化など、飢餓への適応以外のさまざまな生理機能とのかかわりが続々と明らかになってきた。

その一方で、大隅栄誉教授は根本メカニズムを解明するという基礎研究にこだわる。「ガンを治すために、ガン細胞の研究だけをすれば原因がわかるのかといえば、生物学はそんなに単純ではありません。根本的に細胞の機能を解明するのが私の使命だと思っています」

2014年まで大隅研究室に所属し、現在は大学院生命理工学研究科 生体システム専攻に籍を置いて大隅研究室と共同でオートファジーの基礎研究に取り組んでいる中戸川仁准教授は「オートファジーで膜形成がどうなっているのか、そんな基本的なことすら、まだわかっていません。世界中でいろんなデータや成果が報告されていますが、実はみんなが納得できるモデルはあまりありません」と教えてくれた。

中戸川准教授の研究テーマは、オートファゴソームの「膜形成機構」と、その膜がどのように分解対象を見つけるのかという「標的の認識機構」である。標的認識に関しては、2014年にオルガネラの中でも重要な核と小胞体の選択的オートファジーにかかわるタンパク質を特定。その研究結果は英ネイチャー誌に掲載された。

「オートファジーはただ無差別に細胞質成分を分解するだけではなく、分解の標的上に『目印タンパク質』（＝受容体）を提示して選択的に行うこともあります。今回の発見で、Atg39は核の、Atg40は小胞体の目印として機能することがわかりました。では、なぜ選択的に分解する必要があるのか、は次の段階。これから解明していきたいですね」（中戸川准教授）

## 一人ひとりの研究が、大きな謎の解明につながる

膜がどう作られ、どのように分解対象物を判断するのか。この基本メカニズムを解明するには、各段階におけるタンパク質の機能を根気強く調べ上げていく必要がある。

学生たちもまた、それぞれに謎を追っている。「複合体で膜形成にかかわっているとされるAtg12/5/16の3つのタンパク質を扱います。別のタンパク質の機能を促進する働きを持っていることまではわかっていますが、具体的にどんな挙動を示すのかを調べています」と中戸川研究室の原田久美さんは自身の研究を説明する。「最近の研究では、Atgタンパク質以外のタンパク質もオートファジーにかかわっている、といった報告が相次いでいます。僕の場合は、一般的な生体膜形成で働くタンパク質が、オートファジーではどの段階でどう機能しているのか。その関連性を研究しています」大隅研究室の志摩喬之さんは基礎研究を選択した理由を続ける。「誰かがやらないといけないことだと思うんです」

Hitoshi Nakatogawa

**中戸川 仁** 准教授

**大学院生命理工学研究科**
**生体システム専攻**

2002年京都大学大学院理学研究科化学専攻博士後期課程修了。東京工業大学フロンティア研究機構特任助教、特任准教授を経て2014年より現職。
「博士課程を修了した頃、学会で大隅先生の講演を聴講。なんて魅力的な現象だろうと感動して以来10年以上、オートファジーの研究を続けています」

## クリアな答えを「酵母」で見つける

こうした東工大の一連の研究は、すべて酵母で行われている。

「基本的な問題を解くには、酵母が最適。ヒトの遺伝子の染色体は2組になっていますから、一方に不全が起こってももう一方がカバーするので見つかりにくい。酵母の半数体※は染色体が1組なので遺伝子に変化が起こるとすぐに表現型として現れます」（大隅栄誉教授）

また中戸川准教授も「哺乳類の場合、多細胞生物なので、どういった組織の細胞を使うかによって、結果が左右される場合もある」と言う。

まずは、酵母のような「シンプルな生き物で、クリアな答えを出す」「根本にある分子メカニズムを明らかにする」――言葉の端々に、何十年か先の思いもよらぬ役立ち方や、大きな発見につながる“科学”を担っているのだという自負が滲む。

「科学は人類の長い営みの上に成り立つもの。私も一人の研究者として、この歴史的な活動を少し嵩上げできればいいと思っています。今は研究が『すぐに役に立つか』という基準で語られることが多い。社会や若い人もそうですね。オートファジーがきちんと解明されるまでには、あと50年はかかるかもしれません。でも私自身はもう研究をやめていいなという気にはなりません」（大隅栄誉教授）

※酵母には、染色体が1組の半数体の世代と、2組になる二倍体の世代があり、この周期を生活環という

## 根本的な問いへの探求心から、パラダイムシフトが生まれる

大隅栄誉教授らのオートファジー研究は、共同研究なしには語れないという。「構造を全部決めようよ」を合言葉に、北海道大学の稲垣冬彦教授をはじめとする研究者同士の、息の長い信頼関係があったからこそ進めることができた。そこにあるのは、利害関係でなく「根本を突き止めたい」という共通の純粋な欲求だ。

最後に、大隅栄誉教授に地道な研究のなかで発見や気づきを継続していくコツについて聞いた。

「実験の9割は失敗ですし、心が折れそうになることばかりです（笑）。ただ、その人がそれまでの知識でわかることや想像できる結果は、実はたいしたものではありません。失敗の過程で、違う発見があるんだと、気持ちに余裕を持って進んでいると、あるときそこをポンと飛び越えるパラダイムシフトが起こせるのではないでしょうか」

左：蛍光顕微鏡を使い、特定のタンパク質の細胞内での挙動を観察。
右：シーソーのような動きで、ゲルなどの染色や脱色を行うシェーカー（振とう器）や、超高速で回転する遠心機（遠心分離機）などが、研究室のあちらこちらで稼働している。

Student Interview 01

**志摩 喬之**（しま・たかゆき）

大学院生命理工学研究科
生命情報専攻 博士後期課程3年

**大隅先生って？**
今でも時折先生ご自身でピペットマンを握って実験をされる姿を見かけることもあります。

**中戸川先生って？**
真面目で穏やか。学生との距離感が近く、研究を進める際にもとても議論がしやすいです。

**将来の夢や目標は？**
大隅先生や中戸川先生のように、何かしらの分野を開拓していけるような人になりたいです。誰も解き明かしていない謎に対して、挑戦していきたいと思っています。

Student Interview 02

**原田 久美**（はらだ・くみ）

大学院生命理工学研究科
生体システム専攻 博士後期課程2年

**大隅先生って？**
研究者としてはものすごく遠い憧れの存在。でも普段は学生にもフラットで優しい先生。

**中戸川先生って？**
研究室では、先生用のデスクスペースを設けずに、学生と肩を並べてお仕事されています。

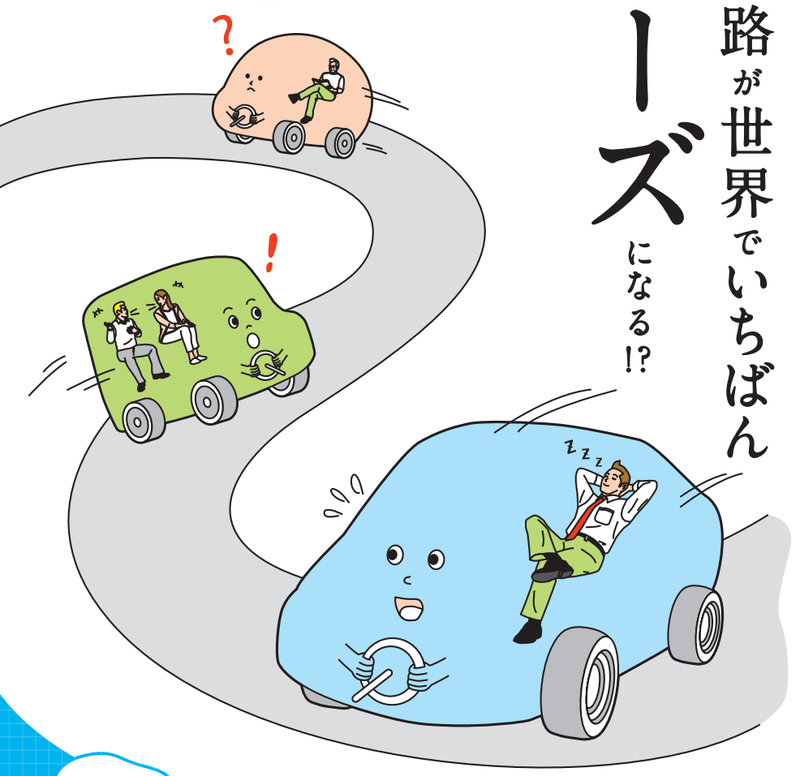
**将来の夢や目標は？**
自分の研究が、いつか何かの役に立つ基盤になればと思います。語学にも興味があるので、自分の能力を活かしながら世界中の人たちと仕事がしたいです。

# 東工大の研究で変わる、わたしたちの「暮らし」

東工大で行われている研究の数々は、やがて研究室を飛び出し、暮らしと密接にかかわる技術となって社会に変化をもたらします。それはまるで、アニメやSF小説で見た「未来の暮らし」!? 実用化が期待される研究の一例を紹介します。

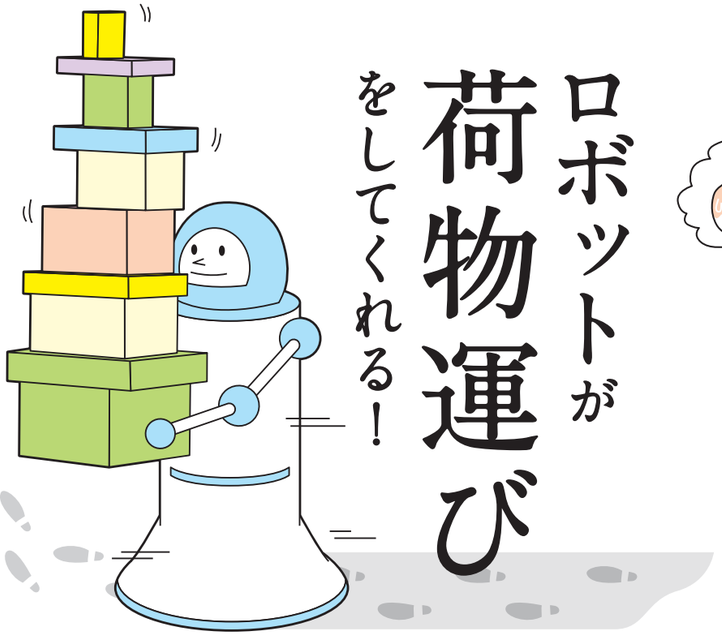
東工大の研究についてさらに知りたい方はこちら
▼
東工大ホームページ
http://www.titech.ac.jp/research/index.html

## 日本の道路が世界でいちばんスムーズになる!?



首都高速道路で1日に発生する事故数は約35件。それによって引き起こされる交通渋滞や遅延が暮らしに与える影響は大きい。こうした問題を解決するために注目されているのが、土木工学専攻の朝倉教授が進めている「交通ネットワーク上でのヒトやクルマの動き」の研究だ。過去の事故発生データはもちろん、GPSや携帯電話などの移動体通信機器やWebを用いてヒトの交通行動や自動車の流れを解析。危険や渋滞の発生を予測可能にし、よりスムーズな交通インフラの整備に役立てるのだ。レジャーシーズンに交通渋滞はつきものだが、将来は渋滞を気にせず安全かつスムーズに旅行を楽しめるようになるかもしれない。

## ロボットが荷物運びをしてくれる!



「歩く人の後を追ってついてくるロボット」。現代の技術なら簡単に実現できそうに思えるが、人の歩行速度や角を曲がるときの動きをリアルタイムで測るには数十万円もの装置が必要でなかなか実用化されてこなかった。そこに突破口を見出したのが、機械宇宙システム専攻の鈴森・遠藤研究室だ。ロボットを紐でつなぎ、その紐の長さと向きをセンサーで感知し、自動で向きと速度を変えて人の後ろをついていく仕組みを考案。常に酸素ボンベを運ばねばならない患者さん向けに公道で実証実験が行われており、3年以内に15万円以下での実用化を目指している。

## 職人不足をロボットが救う!?

像情報工学研究所の長谷川研究室が開発する人工脳SOINNは、人の脳に最も近いAIといえるだろう。情報処理をプログラムされた従来のロボットとは異なり、アルゴリズムにより人工脳自身が「勝手に」学習し、まるで子どもが学習するように成長していく。例えばドローン操縦のお手本を5分間与えるだけで、自分で操作できるようになるのだ。2014年、長谷川准教授はSOINNを活用したサービスを提供する会社を起業。ビジネス現場での複雑なデータ処理から一般向けの家計簿アプリまで、幅広く実用化され始めている。またSOINNは、機械化が難しいベテラン職人の技を学習させることもできる。IT業界のみならず、後継者不足に悩む伝統工芸分野においても救世主となるかもしれない。

## コンピューターの計算速度はまだまだ進化?

ビッグデータの計算処理には超高性能なスーパーコンピューターの活躍が期待されるが、時代はさらにその先を歩み始めている。物性物理学専攻の西森教授らが研究する「量子アニーリング理論」を用いた、新たなコンピューターが登場したのだ。このモデルは、条件を満たす組み合わせ集合の中からもっともよい組み合わせを探す「組み合わせ最適化問題」を解く手法のひとつで、計算処理時間を大幅に短縮できる。2014 年にはGoogleも「量子コンピューター」のハード開発着手を発表。従来のコンピューターでは解けない問題を、数年後には量子コンピューターが瞬時に解決するかもしれない。

## 私たちの身体そのものが「発電所」!?

ペースメーカーや人工内耳などの埋込み型医療デバイスには、定期的な電池交換手術による患者の身体負担やバッテリー残量への不安がつきものだ。その問題を解決するため、機械物理工学専攻の土方准教授が研究を進めているのが「体内発電システム」。体内で筋肉に電気刺激を与えて収縮させ、その力を電気エネルギーに変換して機械を動かすのだ。医療デバイスはもちろん、将来実用化が見込まれる健康モニタリング装置や人工網膜などへの活用も期待されている。

## 「匂い」をたのしむ映画が登場!?

夕飯時に近所の家から漂ってくる生姜焼きの香りに、思わずお腹が鳴ったことはないだろうか。嗅覚は五感の中でも情動的な反応を引き起こすと言われているが、精密工学研究所の中本研究室ではこの「匂い」を自動で調合し発生させる「香り調合発生装置」の開発が進められている。32種類の匂いの元をベースに、操作に応じてコンピューターが匂いを調合し発生させるのだ。ゲームをはじめとするアミューズメントやレストランのディスプレイ、医療検査など、幅広い分野での応用が考えられている。3D映画の次に来るのは、「香る」映画ブームかも!?


Illustration:Teppei Watanabe

# 今を創る先輩がいる。

「お墓」という一風変わったテーマを
学生時代から研究し続けている
「お墓博士」こと、横田睦さん。
業界向けのコンサルティングからテレビ出演、
本の執筆など、幅広く活躍されています。
これまでの歩みと、研究や仕事において大切に
されている「作法」についてお聞きしました。

**進路**

### ある疑問をきっかけに お墓研究の道へ

建築学科ではカリキュラムが進むと「自由課題」が出されます。そこで選んだのが、墓地。普通の建築物なら資料（既往作品）集成がありますが、墓地 はなぜか見当たりません。「誰もが使う施設なのに…」。この疑問から、お墓研究が始まりました。

**大学時代**

### 都内の納骨堂 約200カ所を制覇！

何事も、実際に目で見ることが何より重要。学生時代には都内すべての納骨堂を回り、調査データにまとめたことも。そのときのデータを納骨堂の運営会社が評価してくれ、新たな研究を支援してくれるなどチャンスが広がりました。

**仕事道具**

### 著書が名刺代わり

これまで多くの本を書いてきましたが、自分の仕事がこうして形に残ることで、人にも自分が何をしている人間なのか伝えやすくなります。特に新書はある種の“手軽さ”がありますので、様々な方との交流の場で活躍しています。

**恩師**

### 今でも夢に見る スパルタ（?）青木研究室

東工大に入るなり、「“勉強”は“研究”ではない」と指摘され、まさにカルチャーショック。厳しい研究室でしたが、あの3年間の踏ん張りがあって今の自分がある。恩師には感謝しきれません。

**息抜き**

### 煮詰まったときに 向かう先は霊園

昔は夜中に仕事が行き詰まると、町田の自宅から御殿場にある大霊園まで車を飛ばしていました。別に霊園に行きたいわけではないのですが（笑）、目的地にちょうどいい距離感で。けれど、今でも近所の墓地によく散歩に行くので、やっぱり霊園が好きなのかもしれません。

**研究テーマ**

### お墓にも グローバル化の 波が来る？

TPPでサービス業の市場開放が進めば、海外の葬儀会社が日本に進出することも十分考えられます。今後の新しい挑戦としては、ぜひグローバル化に取り組んでいきたいですね。まずは苦手な英語の克服からですが…（笑）

# 分野の壁を超えて、自分らしい研究を

「お墓博士」なんて呼ばれていますが、普段は公益社団法人全日本墓園協会の主任研究員として、墓地の計画や管理・運営に関する研究を行っています。新たに墓地を計画する際のコンサルティングや指導に携わることも多いです。「お墓」にまつわる慣例や法律は昔から変わっていないように思われがちですが、制度改革や社会情勢の波を受けることも多く、実はなかなか大変な世界なんですよ。

そんな私が工学博士だというと、不思議に感じる方がいるかもしれません。お墓や葬儀関連のテーマは、人文系の視点で語られることがほとんど。工学的なアプローチでお墓を研究し始めたのは、私が初めてだったのではないでしょうか。大学時代から研究を始め、ずいぶん“変わり者”扱いをされました。でも、それは「お墓」というテーマのためなのか、あるいはそうしたテーマを選んだ私自身のキャラクターのせいなのか、どちらなんでしょう（笑）。

## みんなの知らないことを、探して、伝えたい。

理系の視点からお墓を研究する…誰もやってこなかった分野ですから、もちろん先行研究もありません。国立国会図書館やほかのあらゆる図書館で関連資料を探したり、関係者から直接話を聞いたり。霊園や納骨堂でのフィールドワークもたくさん行いました。

分野を超えた研究は大変でしたが、逆に楽しさもありました。例えば建築計画学から霊園を考えると、訪問者のピーク時間帯や滞在時間、属性を調べることは基本。でも、人文系の研究ではそういったフィールドワークはまず行いませんから、データがとても珍しがられるんです。相手がよく知らない分野の知識や視点をもって、議論や情報の交換ができることは研究の醍醐味ですね。

研究の難しさよりも苦労したのは、周囲に理解されなかったこと。大学の卒論では当時の担当教授から「お墓の研究をどう指導したらよいかわからない」と言われました（苦笑）。その後、紆余曲折を経て東工大の博士課程へ進むことに。妙なテーマを抱えた変わり者を受け入れてくださった青木義次教授と、当時は助手で現在は東工大の教授になられた大佛俊泰先生からご指導いただけたのは、今でも幸運なことであったと思っています。「墳墓取得希望世帯の特性を考慮した墓地計画に関する研究」という論文で無事、博士（工学）の学位を取得しました。

## 「自分だけにしかない経験」が、将来の糧になる

お墓研究はかれこれ20年以上に及びますが、仕事のキャリアも実は同じくらいになります。学生時代、研究の一環で関係者にお話を聞いているうちに、調査依頼を受けたり業界誌へ寄稿するようになったのです。修士課程の頃にもなると墓地の計画や許可のアドバイスまで行うように。今の協会に入ったのも、当時の縁がきっかけです。

雪の玉を転がしているようだ、と思うことがあります。はじめは小さな雪の種でも、転がしているうちにどんどん大きくなっていく。

葬祭関連の業界って、実はすごく分断されているんです。墓地や納骨堂は厚生労働省の管轄ですが、そこに建てるお墓（墓石）などは経済産業省の日用品室、葬儀となると同じ経産省でもサービス政策課だったり、商取引・消費経済政策課だったりといったようにバラバラ。葬儀会社は墓石のことを知らないし、霊園も他の霊園についてはまったく知らない。だから、私のように全体を見渡して考える立場はニーズにマッチしているのかも知れません。理工系と文系の間を行き来していた学生時代のように、今も葬祭関連の業界間で雪を転がし続けています。これにはやりがいを感じますね。もし誰かがすでに、この分断されている業界をつなぎ合わせる活動を始めていたら、今の私はなかったでしょう。

どこにもない自分だけの現場経験を持つことは、将来への大きな強みになります。それを養えるのは、フットワークの軽い学生の特権。分野にとらわれない「自分ならではの研究作法」を見つけてください。


横田 睦（よこた むつみ）
全日本墓園協会 主任研究員
日本環境斎苑協会 常任理事


- 1993年 東京工業大学大学院理工学研究科建築学専攻 博士後期課程 入学
- 1995年 墓地関連のコンサルタント組織を設立
- 1997年 全日本墓園協会 主任研究員就任
- 2001年 日本環境斎苑協会 常任理事就任

学生企画

これ、な〜んだ？

# 東工大生の7類道具

1年目に所属する7つの学問領域「類」
類の違いってなんだろう？ どんなことをしているんだろう？
その類の人なら誰もが目にする道具から、類ごとの違いを見てみよう！

## 第1類

自然界の原理に関心を持ち、筋道や法則を探求する「理学」。
第1類では、あらゆる現象の根幹に潜む法則、原理を探求します。

### 紙とペン

大島健太郎

**高校から引き続き必須道具！**

計算で数式を確かめたいとき、抽象的な概念を図示したいときに欠かせない道具です！

### 高温高圧実験機

試料にレーザーを当てて加熱

**地球内部の環境を再現**

熱や圧力を加えることで地球内部の環境を再現できる地球惑星科学科※の道具です。地球内部の物質、構造を特定する為、この実験機でシミュレーションを行います。

ダイヤを使って試料を圧縮します！

※地球惑星科学科は、2016年度から地球惑星科学系に名称変更します。

2年目に進むことができる学院・系／■理学院：数学系、物理学系、化学系、地球惑星科学系　■情報理工学院：数理・計算科学系

## 第2類

私たちの生活を支える金属やプラスチック、セラミックスなど、バラエティに富んだ材料について、多角的に学ぶことができます。

### マイクロメータ

高精度！

武石桐生

**100分の1㎜まで高精度に測定**

材料実験で正確なデータを得るためには、自前で製作する実験器機の歪みは許されず、また、試材も正確に測る必要があります。そこで活躍するのがマイクロメータ。100分の1mm単位での計測が可能です。

### ダイヤルゲージ

**基準と比べてどのくらい正確か**

マイクロメータとは異なり、直接測ることはなく、基準と比べてどれだけ誤差があるのかを測定するための道具です。ものの厚みや、どれほど平らに仕上がっているのかの確認に使われます。

2年目に進むことができる学院・系／■物質理工学院：材料系

## 第3類

第3類では、分子・原子などの目に見えないナノ単位の世界から、製品を作り出すプロセスまで、幅広く学びます。

### 電子天秤

**正確な質量を測定！**

電子天秤は薬品の質量を正確にはかることができます。風にも反応してしまうので、囲いで周りを覆っています。

### ロータリーエバポレーター

フラスコを回転させて蒸発を早める

**液体を効率的に蒸発させる！**

主に溶媒の除去のために用いられる道具です。液体を入れるフラスコが回転し、全体を均一に加熱することで効率的に液体を蒸発させることができます。

なるほど〜

吉田有沙　宇山拓夢

2年目に進むことができる学院・系／■工学院：経営工学系　■物質理工学院：応用化学系

## 第4類

第4類はなんといっても「ものつくり」。ロボット、宇宙機械などの最先端の機械工学から、地球規模の環境工学、企業経営などまで幅広く学びます。

### 旋盤

**丸い部品を高精度に切り出せる**

第4類では金属加工が日常茶飯事。これは円柱状の金属材料を削る、または切断するための機械です。材料を回転させ、固定している工具の刃先にあてることで材料を削ります。

### フライス盤

**様々な金属部品を製作できる**

金属材料を切ったり削ったりして様々な部品を製作できる機械です。材料を可動式の台に固定し、回転する工具の刃先にあてることで、平面や溝・穴を削り出すことができます。

前田浩輔

2年目に進むことができる学院・系／■工学院：機械系、システム制御系、経営工学系　■環境・社会理工学院：融合理工学系

## 第5類

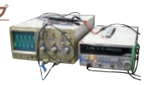
身近な電化製品から現代社会を支えるコンピュータネットワークまで、電気・情報等にかかわるすべてが第5類の研究対象です。

色んな道具があるんだね〜

阪野泰彦　松沢純平

### 設計室の道具

▶オシロスコープ
回路に流れる電流の波形を見られる



▶テスター
回路内の電圧・電流・抵抗を確認できる

▶IC検査
作ったICの動作を確認できる

### VLSI※設計室

**集積回路を設計できる**

VLSI設計室には、集積回路（IC）の設計に必要な道具がそろっています。大規模な集積回路の設計も可能で、作った回路を実際に動かして実験することもできます。

※VLSIとは
先端的な半導体技術や製品の総称。
（または集積回路のうち、素子の集積度が10万〜1000万個程度のもの）

2年目に進むことができる学院・系／■工学院：システム制御系、電気電子系、情報通信系　■情報理工学院：情報工学系

## 第6類

人の生活にかかわるすべてを学問分野とする第6類、土木・環境工学、建築学、地球規模の問題解決のアプローチで、より良い未来を築きます。

### パソコン

**第5類、必須の道具！**

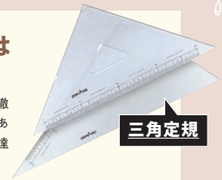
パソコンは第5類の必須アイテムです。プログラミング・電気回路のシミュレーションといったことに使っています。

### 製図道具一式

松山紫帆

**製図を書くには必需品！**

第6類で学ぶ建築・土木。徹夜で製図に打ちこむこともありますが、完成したときの達成感は忘れられない！



三角定規

2年目に進むことができる学院・系／■環境・社会理工学院：建築学系、土木・環境工学系、融合理工学系

## 第7類

バイオ＋理工学＝第7類。
理工学分野の学問をベースに生命分野の研究を行い、生命を化学と物理で解き明かします。

お馴染み道具！

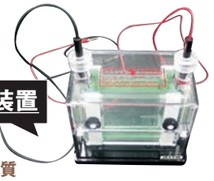
熊谷葉々

### 光学顕微鏡

**微小なものまで観察できる！**

中学生の頃からお馴染の道具ですが、大学でも役に立つ存在です。細胞などの観察をこの顕微鏡で行います。

### 電気泳動装置



**DNAやタンパク質を分離できる！**

電気泳動は高校で学んでも実験した人は少ないはず。第7類ではDNAやたんぱく質の電気泳動ができます！

2年目に進むことができる学院・系／■生命理工学院／生命理工学系

### 東工大オリジナルテンプレート

第1〜7類のどの学生も使える東工大オリジナルのテンプレート！そもそもテンプレートというのは設計図に記号や図形を綺麗に書くための道具。「ギリシャ文字が書きにくい！」「理系分野にまつわる記号をキレイに書きたい！」という東工大生の声をもとに学生主体のプロジェクトで生まれ変わりました。

学生メンバーによる会議

＊東京工業大学生協購買にて大好評発売中！