

# Ttime!

学生が作る東大工学部広報誌

Vol.63 2015.4

分子で探る、生命の仕組み！

化学生命工学科

さんどう しんすけ

山東 信介 教授

工学の知見を活かし  
新たなバイオマテリアルを作る

化学システム工学科

いとう たいち

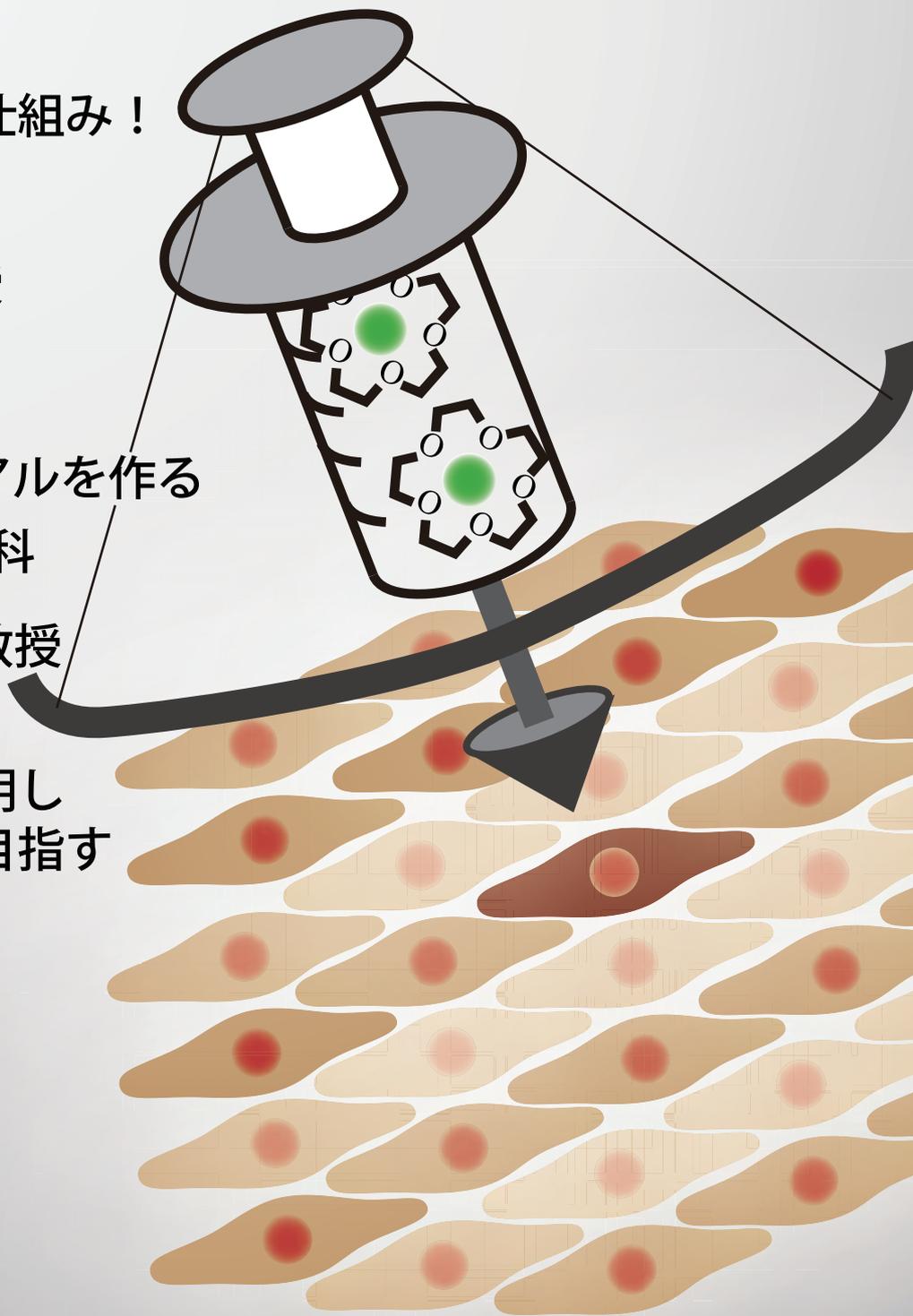
伊藤 大知 准教授

光合成の仕組みを解明し  
将来の人工光合成を目指す

応用化学科

いしきたひろし

石北 央 教授



化学・生命系3学科特集

化学の中のバイオ



# 分子で探る、 生命の仕組み！

さんどう しんすけ  
山東 信介 教授

工学系研究科 化学生命工学専攻

みなさんは、自分の体が何で出来ているのか考えたことがありますか？生きている私達は、水などの分子の集合体にすぎません。しかし、水道からでる水を生命体だと感じないように、分子単体では生命にはなりません。それでは、何が分子の集合体を生命たらしめているのでしょうか？

山東先生は、特殊な分子を武器に、「なぜ分子が生命となるのか」という謎を明らかにしようとしています。

## 研究内容について教えてください

分子をキーワードとした研究を行っています。分子をどう扱うか、どう知るかというコンセプトのもと、人工的な分子を用いた新技術の開発を目指しています。具体的には、体の中の分子を見るための新技術を開発しています。

## なぜ分子を見る研究をしているのですか？

普段はあまり意識しないのですが、生命体である私達の体は分子から構成されています。食塩とかミネラルとか、台所にもあるような分子で生命体は構成されています。だけど、台所の食塩を見てもそれを生命だとは感じません。ただの分子です。それでは、生命と分子の境界は何なのかというと、よく言われるのは、局在や変換、代謝などの分子の「流れ」です。

その場にとどまりつづける分子は生命とは呼べませんが、分子に流れが生まれることで生命を発現しているのです。これは、生命を“分子”の動的な集まりとして理解しようと挑戦している研究者が共通で持つ考えだと思います。福岡伸一先生の著書「生物と無生物のあいだ」に

このあたりの考えが非常にわかりやすく書かれているので、興味があれば是非読んでみてください。

この生命と分子の境界線を理解したいという気持ちと、この技術を医療に役立てたいという気持ちから、研究しています。

## 分子を見ると何が分かるのですか？

分子は、流れの中で構造を変化させます。構造変化の前後で分子が持つエネルギーが変化し、このエネルギーの差を、例えばATPと呼ばれる形にして体に蓄えます。ATPを利用して私達は体を動かしているのです。このような変換が上手く行われないう時、人はそれを代謝疾患とか生活習慣病という病気であると認識します。病気の時、それは体のどこかで分子の流れがおかしくなっているのです。

つまり、体の中の分子の流れを計測することで、生命の本質の解明はもちろんのこと、病気の早期発見にもつながるのです。

## どのように分子を見るのですか？

分子を見るための手法として有名なも

のに蛍光顕微鏡という技術があります。これは、特定の分子を発光させることで分子の位置を特定する技術です。しかし、残念ながら光は人の体を通り抜けることができないので、この手法で体の中の分子を見ることはできません。

NMR (Nuclear Magnetic Resonance; 核磁気共鳴) という手法があり、この手法で体の中の分子を計測することができます。原理は簡単で、まず体の中に、ある特殊な性質をもつ分子（造影剤、分子試薬）を注入します。その後、体の外から分子に磁場をかけると、その分子の中の核スピンと呼ばれるものが2つの状態に分裂します。そこに、ラジオ波を照射すると、核スピンの状態が遷移します。これを核磁気共鳴と呼びます。この過程で吸収もしくは発生するエネルギーを計測することで、特殊な分子が今どこにいるか、どのような構造をとっているかを特定することができます。(図1)

病院にあるMRI<sup>※1</sup>も同じ原理で、これは人体の中にある水分子を見ています。人間の体の大部分は水なので、それを計測するのは簡単です。しかし、もっと別の、例えば量が少ない分子を計測するのは非常に困難です。この問題を解決

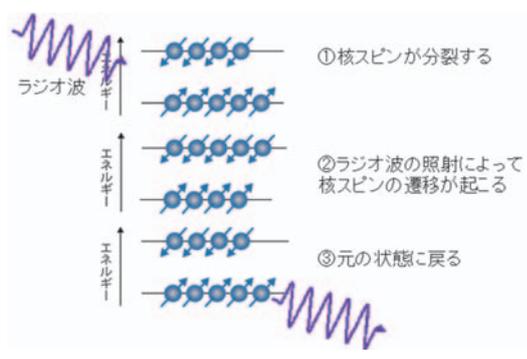


図1：磁場中の分子を置くと①核スピンのゼーマン分裂する。②そこにラジオ波を照射すると、核スピンの遷移が起こり、その後、③核スピンの元の状態に戻る。この過程をNMR装置で検出する。

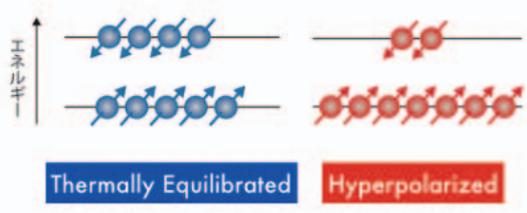


図2：核偏極の概念図。左が通常の状態、核スピンの状態の偏りが小さい。右が核偏極状態になった核スピンの様子。偏りが大きいほうが、ラジオ波を照射したときに計測できる信号強度が大きい。

して、体の中の少量の分子を計測しようというのが、私達の研究です。

**どのように解決するのですか？**

まず1つ目は、高感度化です。さきほど言ったように、少量の分子から発する信号を計測する必要があるため、分子から強い信号を発する仕組みが必要です。私たちは、核偏極と呼ばれる現象を利用して、分子を高感度化しています。分子を核偏極と呼ばれる状態にするのですが、この状態は磁場をかけたときの核スピンの「偏り率」を大きくする技術です。(図2) 偏りが大きいほど分子から発生する信号は大きくなるので、これにより感度が上昇します。我々の開発した分子では、約6000倍の高感度化を実現しています。(図3)

**6000倍も高感度化されれば問題は解決できたのでは？**

そう簡単ではありません。2つ目の問題が核偏極の持続時間の短さです。実は、通常環境下における核偏極状態の持続時間は非常に短いのです。例えば、グルコースの持続時間は数秒もなく、ピルビン酸の場合は50秒程度です。こんなに

短いと、体に注入するまでの取り扱いも非常に難しくなります。NMRによる体内の分子の流れを可視化するためには、持続時間を延ばすことは必須課題です。私たちは、理論をもとに、実験を重ねることで持続時間が816秒の分子の合成に成功しました。(図4)

もちろんこの他にも、問題は多くあります。例えば、特定の分子の流れを見るためには、その分子と反応する性質をもつ核偏極分子を合成する必要があります。このあたりの問題は、化学の知識だけではなく、医学的・生物学的知識も大変重要になってきます。

**研究の最終目標を教えてください**

最終的には、体の中の分子の流れをリアルタイムで計測することです。「体の中の分子」を見るなら、例えばPET<sup>※2</sup>を使えばいい。ですが、それでは体のどこに分子があるのかはわかっても、分子がどのように変換されているかまでは見ることができない。

しかし、優れた核偏極分子が実現できれば1秒くらいの時間間隔で分子の位置や構造を計測できるので、間違いなく生命分野における計測技術のプレイクス

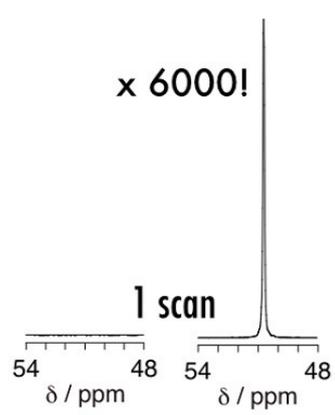


図3：左が核偏極前、右が核偏極直後の信号強度。約6000倍の高感度化に成功した。

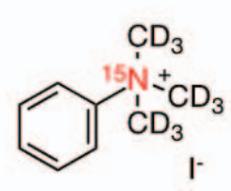


図4：開発した分子の構造

ルーになります。是非、この目標を達成したいと考えています。

**学生へのメッセージをお願いします**

考えることも、生命活動も、究極的には分子の流れの上に成り立っています。その流れを見ることは今まで誰も成功していません。つまり、見る事ができて初めて新しい学問が生まれるのです。そういうものに興味をもって失敗してもいいからチャレンジしていくのが大事だと思います。

(インタビューー 本山 央人)

※1 MRI：磁場中におかれた分子の核スピンの性質から、体内の分子の位置情報や周辺の状況を画像化する手法

※2 PET：放射性元素でラベル化された分子を体内に注入し、それを検出することで体の中の分子の位置を特定する手法

# 工学の知見を活かし 新たなバイオマテリアルをつくる

再生医療の分野は近年注目を集めていますが、再生医療を行うには細胞を身体に埋め込むための材料であるバイオマテリアルの存在が不可欠です。工学部としてどのように医療に関わることができるのか、今回は最先端のバイオマテリアルの研究されている伊藤先生にお話を伺いました。



いとう たいち  
伊藤 大知 准教授

工学系研究科 化学システム工学専攻

研究室に職を得ることができました。

## 日本での研究とアメリカでの研究の違いはどのようなものでしたか？

留学先では同年代の30歳前後の研究員がたくさんおり、また彼らは非常に優秀で刺激になりました。研究室の雰囲気は非常に自由でした。ボスの指示を聞いてばかりではなく、自分で考えたり同僚と話をしてアイデアを出したりしそれを実行してみる、というように好きなことをやらせてもらいました。ただ、これは東大の化学システム工学科でも同じようなことが言えると思います。雰囲気としては大きな違いは感じませんでした。一点だけ挙げるとすれば、日本人の特性とも言えることだと思いますが、欧米と比べるとリスクを恐れがちだと感じます。それゆえ実験から臨床へ移るスピードはアメリカの方が早いと感じました。

## 学生へのメッセージをお願いします。

月並みですが、自分の好きなこと・興味のあることをやってほしいですね。興味があるものが見つからないという人もいると思いますが、一生懸命やっているうちに好きになったというパターンはけっこうあることだと思います。いま自分が面白いと感じるものがないからと言ってがっかりするのではなく、なにか面白いものが来るのではないかなと思いつつ過ごしましょう。また、社会が何を求めているかに目を向けると、そこから自分のやりたいことが見つかるかもしれませんね。

(インタビュアー 堀川 裕史)

## バイオマテリアルとはどのようなものですか？

生体は、一般に体内に異物が入るとそれを除去しようとする異物反応を起こします。バイオマテリアルは人の生体に移植することを目的とした素材ですから、この反応を起こさない素材である必要があります。バイオマテリアルを用いると、組織を再生させる細胞の足場となるための材料を作り出せます。また移植可能なバイオマテリアルは、薬物送達担体、止血材や腹膜癒着防止材としても使うことができます。

## 最近の研究について具体的に教えてください。

再生医療においては、せっかく細胞を作っても付着する足場がなくては細胞は生きていきません。そこで足場材料の一種であるハイドロゲルの開発を行っています。これを使って実際に動物の体内に注入し、骨再生を行うという研究を進めています。また、まだこれからの分野ですが、医学部の研究室と共同で膵島を作る研究をしています。膵島とは、膵臓の中に浮いている、インシュリンを作る部分です。この膵島が機能不全だとインシュリンが作れなくなります。現在はインシュリンを補充する療法が行われていますが、血糖値制御が大変で、患者さんの日常生活の質が低下してしまう。膵島

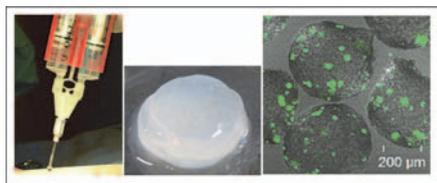
は直径200 $\mu\text{m}$ くらいであるため、注射によって肝臓の細い血管に詰めて生着させることができます。このような移植療法を用いると移植膵島のおかげで数年ほどインシュリンをまったく投与しなくても問題ないと考えられており、かなり期待されています。

## 研究に化学システム工学としての強みは活かされていますか？

材料を合成するときと合成した材料をデバイスにするときにシステム設計が用いられます。化学システム工学科で最初に学ぶのは移動現象、たとえば物質、熱、運動量の移動ですが、これらは材料・デバイスの中でも体の中でも起きています。細胞が生きていくには酸素・グルコース・タンパク質が必要です。これらは血管を介し移動してきて、細胞で消費されているわけです。せっかく再生医療のデバイスを作っても酸素やグルコースの不足で細胞がうまく働かなければ意味がないので、化学システム工学で体内の種々の移動現象を制御することが重要です。

## その研究内容に興味を持たれたのはどうしてですか？

進学振分けの前から膜に興味があり、逆浸透膜の研究をしていた研究室に入ろうと志し、化学システム工学科を選択しました。修士のとき生体の機能を真似して新しい機能を持つ人工膜である、生体模倣膜を作る研究を始めました。博士を取り終えるころには、もっと生命の機能を知り、より社会の役に立つものを作りたいと感じるようになりました。そこで当時話題になりつつあった再生医療を知り、海外で働くことを意識して海外の大学にポストドクに応募したところ、運良くアメリカのマサチューセッツ工科大学の再生医療提唱者の産みの親である先生の



アプリケーター (左)、ハイドロゲル (真ん中) と、それをカプセル化して膵島 $\beta$ 細胞を封入した様子 (右)

# 光合成の仕組みを解明し 将来の人工光合成を目指す

人工光合成は、太陽エネルギーを燃料や資源に変換する画期的な技術として期待を集めています。しかし、その基となる自然界の光合成、特に水分解酸素発生反応機構は実はまだ解明されていません。今回は、応用化学科で光合成タンパク質を中心に、タンパク質の機能を幅広く研究されている石北先生にお話を伺いました。



いしきた ひろし  
**石北 央 教授**

工学系研究科 応用化学専攻

## 研究内容について教えてください

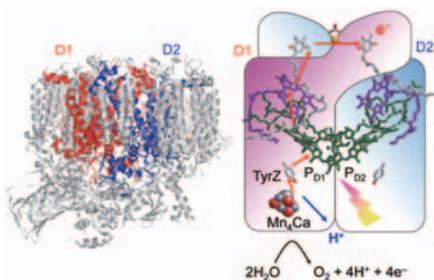
私たちの研究グループでは、様々なタンパク質の機能を実験ではなく理論の方向から解明する研究を行っています。

2011年に日本のグループによって光合成で水を分解し酸素発生を担うタンパク質 Photosystem II (PSII) の結晶構造(分子構造)が解明されました。普通タンパク質は小さいもので1000~2000個程度の原子から構成されているのですが、光合成タンパク質はおよそ10万個もの原子からなる非常に巨大で複雑な分子となっています。そのため、分子内のどの部位が水分解反応の鍵となっているかを実験的に確かめるのは容易ではありません。水を分解して酸素を出す際に水素イオン ( $H^+$ ) が副生成物として出ます ( $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$ )。この  $H^+$  の流れを追うことも光合成の反応機構を解析するためには重要なのですが、 $H^+$  一つ一つは、サイズが非常に小さいので、これもやはり既存の実験手法ではなかなか観察することが出来ません。そのため、私たちは分子構造を基に、分子化学計算やシミュレーションを用いて理論的に反応機構を解明しようとしています。

## 光合成とはどのような反応なのですか

PSII では太陽電池と同じように、光が当たると正電荷と負電荷 (= 電子) が生まれます。ただ、太陽電池は光エネルギーを「電気」として取り出しているのに対して、(人工) 光合成では「物質」を作り出すことができます。また、天然の光合成では  $H^+$  が生じますが、人工光合成では  $H^+$  でなくても、例えば燃料電池の源である水素 ( $H_2$ ) に変換してしまっても良いわけです。また、水分解だけでなく、 $CO_2$  を還元して炭化水素として取り出すことも人工光合成に含まれます。人工光合成を実現することができ

ば、このように、蓄えたり輸送したりすることが容易なエネルギーを作り出すことができます。



PSII タンパク質の全体像 (左) とタンパク質内の電子移動経路 (右)

## 現在の研究に至った経緯を教えてください

元々、入学時は理学部の物理学科に行きたいと考えていたのですが、色々な話を聞いたり本を読んだりしているうちに、化学や生物も面白いと思うようになりました。ちょうど応用化学科のガイダンスでノーベル化学賞受賞者の福井謙一先生の講演を聞く機会があり、量子化学に興味を持ちました。同じ量子でも(当時は)まだ研究者の少ない生物に関連した量子現象を取り扱いたいと思ったので、進振りでは化学生命工学科に進み、長棟研究室で修士課程まで生体分子素子の実験研究を行いました。しかし、理論研究によって実験研究の限界を乗り越え、さらなるサイエンスを追求したいとの思いが強くなりました。そこで、博士号取得のための研究を蛋白質の理論研究を展開しているドイツの研究室で行いました。光合成の研究と出会ったのもこの時でした。

## どのようなことを目標に研究を行っていますか

目下の目標は、PSII で水が分解される反応機構を完全に解明し理解することです。先ほど言ったように、水の分解反応

は化学反応式こそ簡単ですが、なぜ2つの水分子から4つの  $H^+$  と4つの電子を(電気分解に頼らず)太陽光だけで奪って酸素 ( $O_2$ ) を作り出すことができるか、その反応機構は実は全く分かっていません。実験的に人工光合成系に挑戦する研究が必要である中、私の使命は、複雑に見える PSII 水分解反応を分子化学の立場で誰もが納得する形でシンプルに説明することだと思います。ただ、光合成に限らず、どのような生命現象であっても、基本的には分子をちゃんと理解することができれば、解けるはずだと思っています。なので、究極的には、光合成タンパク質に限らず、あらゆるタンパク質に当てはまるような普遍的な原理を分子化学から導き出せたらと思っています。

## 学生へのメッセージをお願いします

好き嫌いはあると思うのですが、嫌いなことでもその存在だけは知っておいた方がいいと思います。例えば、私は高校時代は生物が大嫌い、あまり勉強しませんでした。でも、キーワードだけでも知っていれば、必要な際には調べたり勉強し直せばすむことです。その存在すら知らなかったら、調べることもできません。もちろんやりたいことは持っていて良いと思いますが、人生は必ずしも自分の思った通りに行くとは限りません。そのため、あまりたくさん考えすぎずに、やりたいと思っている以外の様々なことにもチャレンジして、浅くてもいいので色々な物事に会っておくときっと将来役に立つのではないかと思います。

(インタビュアー 龍田 誠)

# 学生インタビュー記事！

今回、Ttime!の学生インタビューに快く応じてくれたのは、工学部応用化学科（以下、応化）を今年卒業し、4月から大学院生として石北研究室で理論系の研究を行う高岡友裕さんです。研究内容や研究室での生活について気さくに語っていただきました！

（W：インタビュアー、T：高岡さん）

W：それではインタビューを早速始めていきますね。まずは高岡さんの研究生活についてお伺いしたいと思います。高岡さんが所属している石北研究室では主にどのような研究が行われているのですか？

T：石北研究室では、主にタンパク質の内部で起きている化学反応を、量子化学や古典力学の観点から分析しています。どちらかというとも基礎を大事にしています。タンパク質内の化学反応の鍵となる部分を理解することは、むしろ、工学的な応用に対して重要だと思います。

W：なるほど、とにかくタンパク質に関連した研究を石北研究室では行っているんですね。さて、そんな中で高岡さんが卒論で扱ったテーマとはどのような内容だったのでしょうか。

T：卒論では、体内でのコレステロールなどのイソプレノイドの合成に関与するタンパク質が、酵素反応をどういう仕組みで起こしているかについて研究しました。実は、体内のタンパク質の反応というのは実験で結果がわかっているにもかかわらず理論的にはまだ解き明かされていないことが多く、教科書に反応理論がのっているようなタンパク質は全体のほんの一部なんです。僕が研究したイソプレノイドもまだまだわかっていないことが多く、研究の余地は大いにあります。

W：タンパク質の反応というのはそれほど奥が深いんですね。

では、そのような研究をされていてどんなところに面白さを感じますか？

T：やはり、複雑なタンパク質の化学反応を理論的に解明するプロセスが非常に面白いと感じますね。一見不自然に見えるような現象も、よくよく見てみると分子内の様々な自然現象の積み重ねによって起こっていることが分かり、なるほどタンパク質って上手く出来ているんだな～って感心します。例えば、タンパク質内でプロトン（水素イオン）を強く引き付ける負電荷が望ましくない所にあっても、実はその周りを正の電荷をもった金属イオンが覆うことで、プロトンを別の場所へと誘導していた、なんていったことが反応の仕組みを研究してみると明らかとなります。こうして「なるほど、実はそうだったのか！」と感ぜられることが、この研究の面白さではないでしょうか。

W：何事も、ぼんやりとしたことが理屈でわかるようになると気持ちがいいですね。ところで、研究室に入る前と後で何か大きく変わったことはありますか？

T：一番の大きな変化はコーヒーの消費量ですかね（笑）。研究室に入る前はどちらかというともコーヒーは嫌いなほうだったのですが、研究室に入ってからには眠気を覚ますために1日1杯は飲むようになり、次第に好きになってきました（笑）。3年生までと違って、研究室では一日中ずっと同じ部屋で朝の10時から夜の9時くらいまでパソコンの前で研究を行っているの

で、やっぱり眠くなりがちなんです。まあ、そのおかげで以前より規則正しい生活を送れているのですが。

他に研究室に入って変わったことといえば、学問への姿勢でしょうか。これまでは定期テストやレポートで良い点を取るために、あらかじめ決められた範囲を学ぶというのが当たり前でしたが、研究室ではテーマの選択肢が与えられることを除けばあとは自分次第です。まずは自分の研究テーマに関連する論文を積極的に読み、実験や計算を通してその論文の内容を吟味し、そして自分が蓄えてきたデータなどと照らし合わせることで自分なりの仮説を立て、その仮説の正当性を再び実験や計算で確かめる。このように、従来のようなただ知識を蓄えるだけの学びではなく、その知識を活かして新たなアイデアを自ら創出することが研究を行うということなのです。もちろん思い通りの結果が出ない時も多々ありますが、その分やりがいを感じます。

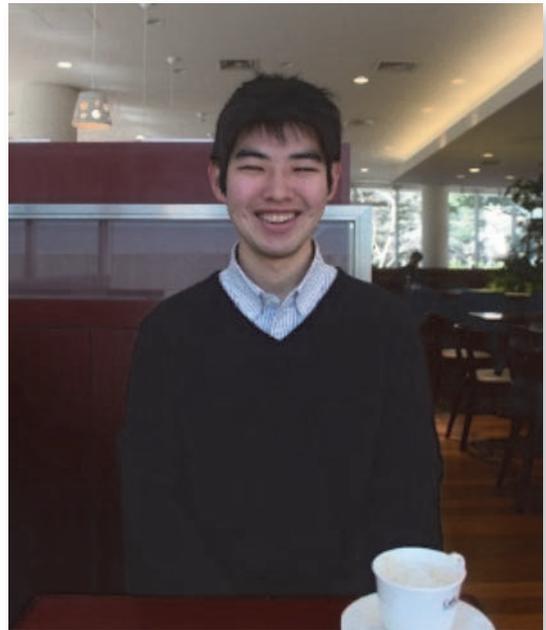
W：一日中ずっと同じ部屋というのはかなり大変そうですね。さて、それではそろそろ最後の質問に移りたいと思います。Ttime!の読者には進振りを抑えている教養学部の1、2年生が数多くいるのですが、そんな後輩達に何かアドバイスはありますか？

T：そうですねえ、まあよく言われている話ですが、教養時代は今と比較して自由な時間が多かったので、自分の好きなことをたくさんやると良いんじゃないかなあとと思います。例えば、僕はダイビングが趣味なんですけど、研究室に入ってからなかなか潜りにいく時間が取れておらず、駒場時代にもうちょっとやっときゃよかった〜って今になって少し思います（笑）。

また、これも良く言われることですが、授業以外にも英語の勉強をちゃんとやるべきだと思います。これは、研究のために読む論文は基本的にすべて英語で書かれていて、自分が将来論文を発表する時も全て英語で行う必要があるからです。しかし研究室に入ってから悠々と英語の勉強なんかしている暇はありませんので、今思うと教養時代は英語を学ぶ絶好の機会だったなあと感じます。

W：そうですね〜僕も教養時代は選り好みせず色々と興味があることをやっておけばなあとよく思いますね。では本日は長い間インタビューにお答えいただき、ありがとうございました！

T：こちらこそ色々聞いてくださってありがとうございました。



(高岡さん @ 駒場のイタリアントマト)

#### 高岡さんの一日

- 10時：研究室に来る。そのあと、先日パソコンに入力した計算結果を確認する。
- 12時：昼ごはん。食後のコーヒーは欠かせない。
- 12~18時：デスクトップPCと向かい合って計算、適宜ディスカッションをする。
- 18時：お腹がすいてくるので軽食をとる。
- 21時：研究室を出る。

(インタビュアー 和田 崇史)

## Ttime! Web 記事紹介

話題のウェブページ、Time! Web (<http://ut-ttime.net>) 内の  
 化生系3学科（応用化学、化学生命工学、化学システム工学）に  
 関するWeb記事から厳選して、3つご紹介します。



### 【工学部さんぽ ～工学部3号館～】

2013年に完成したばかりの工学部3号館には、化生系3学科の研究  
 室が所在しています。建物内では、あの有名な格安コンビニチェーンも  
 営業しています。一般の方は入れない所も探検し、紹介します。



### 【五月祭展示に行ってきました！(2)～化生系展示編～】

毎年5月に行われる東大の学園祭「五月祭」では、各学科ではそれぞ  
 れの研究内容にちなんだ展示が行われています。左の写真は、とある微  
 生物の性質を利用した、細胞を選択的に並べる技術の紹介です。



### 【工学部の研究—装置作製—】

中にはコンピュータだけを使って研究する研究室もありますが、実験  
 装置は化生系の研究にとって必要不可欠。実験の意義と目的を考え、学  
 生自身で装置を組み立てるところから実験は始まります。装置の一例を  
 紹介します。

## 表紙について

今回の表紙は「化学の力で病気を治す」をテーマにお届けしました。  
 化学を医療分野に役立てようという研究が、近年盛んに行われています。その代表例が、  
 薬剤を特定の細胞を狙って届ける「ドラッグデリバリーシステム（DDS）」の研究です。  
 例えば抗がん剤を他の化合物でコーティングすることで、がん細胞のみに効くようにする  
 という研究があります。実現すれば抗がん剤の副作用を軽減させられると期待されています。  
 表紙のイラストでは、DDSを弓矢に見立てて、中央のがん細胞をだけを狙っています。化  
 学の力で、どんな「弓矢」が出来るのでしょうか。（花村 奈未）

## 編集後記

今号は応用化学科・化学生命工学科・化学システム工学科の3つの学科を、「バイオ」と  
 というテーマでご紹介しました。  
 バイオ＝理学部/農学部、医療＝医学部/薬学部というイメージが強いと思います。けれど  
 も、工学部でもバイオや医療の分野において幅広く研究していることが、今号を通じて伝え  
 られたら幸いです。（企画担当者一同）



### <広報アシスタント>

企画：兼古 寛之、山田 静、柳本 史教  
 伊藤 秀剛、上田 倫久、上野美希子、岡 功、岡田 彪利、  
 兼古 寛之、勝野 真輝、櫛田 峻裕、黒川 大地、柴山翔二郎、  
 澁谷 崇、徐 夢荷、白畑 春来、新谷正太郎、龍田 誠、  
 土屋 美樹、富永 華子、名和 愛乃、花村 奈未、星野彰太郎、  
 真弓 智裕、本山 央人、森西 亨太、諸隈 夕子、柳本 史教、  
 柳光 孝紀、和田 崇史

### <広報室>

中須賀真一（広報室長・工学系研究科 航空宇宙工学専攻）  
 田端 和仁（工学系研究科 応用化学専攻）  
 川瀬 珠江、永合由美子

### <表紙>花村 奈未

### <裏表紙>兼古 寛之

Twitter、Facebookでも情報を配信しています。



@UTtime  
 Follow me



工学部広報誌 Ttime!

Ttime! Webはこちらです！  
<http://ut-ttime.net>

Ttime! バックナンバーがご覧いただけます  
[http://www.t.u-tokyo.ac.jp/public/t\\_time.html](http://www.t.u-tokyo.ac.jp/public/t_time.html)