# Chemistry　豊田研究室

## 細胞サイズの分子集合体のダイナミクス・機能創成

（左）豊田 太郎, Taro Toyota, Ph.D.

（右）本多 智, Satoshi Honda, Ph.D.

当研究室は，有機化学をベースに，生命科学や物質科学の課題の解決に挑戦する研究室です。有機分子をマイクロメートルサイズやそれ以上まで集合化し，その分子の化学反応をトリガーとして有機分子集合体のダイナミクスを誘導することで，**階層化した時間発展システムや，階層化した機能をもつ物質**をつくりあげることに力を注いでいます。

### ジャイアントベシクルの形態変化

例えば，細胞は外部環境応答や内部状態の変化から形態を変え，またその形態変化から内部状態を変え，外部と自己の境界を維持しています。このような複雑なダイナミクスの本質を理解するには，細胞内部や膜の成分全てについて，一つ一つの分子のはたらきをつぶさに調査するだけでなく，それら分子を最小限の種類にだけ絞って再構成した有機分子集合体を構築し，その作動原理を解明する構成的研究が重要です。当研究室では，膜の主成分であるリン脂質など両親媒性分子

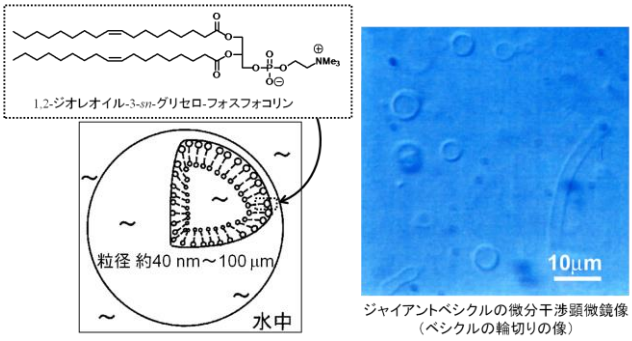


図１　ベシクル構成分子（リン脂質）とジャイアントベシクルの光学顕微鏡像。球状だけでなく，赤血球形状やチューブなども形成できる。

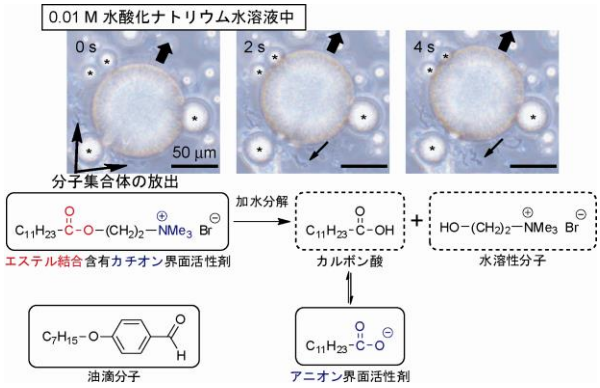


図２　反応活性な両親媒性分子の水溶液中で遊走する，粒子径 50 μm の油滴の光学顕微鏡像。

（油にも水にも溶解する分子）のみを用いて，細胞と同程度の大きさをもつ袋状人工細胞膜（これをジャイアントベシクルといいます）を構築し（図１），「ジャイアントベシクルそのものの形態変化がジャイアントベシクルを構成する膜や内部の分子のいかなる状態変化によって作動されるのか」という課題について探究しています。これまで，構成分子の化学反応によってある時刻にだけ発生するジャイアントベシクル，外部から構成分子前駆体を取り込み内部で分子変換することで増殖するジャイアントベシクルが見出されました。現在，**高分子をジャイアントベシクルの内部に閉じ込めた人工細胞**を構築し，人工細胞の内部や構成分子の状態変化と人工細胞そのものの形態変化，また人工細胞集団の動きといったダイナミックな相互作用について，光学顕微鏡，細胞流れ分析装置（フローサイトメーター），マイクロ流体デバイスを用いて研究しています。

### 油滴の遊走現象

水中のマイクロメーターサイズの油滴に，両親媒性分子である界面活性剤（例えば洗剤）を加えると，油滴は界面活性剤の乳化作用によってたちまち水に溶解します。しかし，化学反応する界面活性剤や油滴分子を用いると，界面活性剤添加時に油滴は溶解せずに，化学反応の進行に伴って水中を遊走するという現象が最近見つかりました（図２）。興味深いことに，その油滴の内部では対流が誘起されており，その内部対流の合一や離散が油滴そのものの運動方向と連動している


http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/toyota_lab/

連絡先

准教授　豊田太郎　16 号館 604 室　5465-7634

cttoyota@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

助教　本多　智　16 号館 603 室　5465-7634

c-honda@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

ことが判明しましたが，そのメカニズムはまだ解明されていません。そこで当研究室では，新規の両親媒性分子や油分子の設計・合成と，それら分子がみせる油滴の遊走現象の計測を両輪として，**両親媒性分子や油分子の化学反応，油滴内部の対流，油滴の遊走，油滴の群れの動きというダイナミクスの階層をつなげて**理解することを目指しています。また，この現象を利用してマイクロリアクターの開発を同時に進めています。

### タンパク質の多様性を高分子のデザインから考える

生命らしさの特徴の一つとして，環境からの影響を時間軸に沿って内部へ溜め込み，内部状態の変化や書き換えにより，自身の環境応答を変化させる性質が挙げられます．この性質は主にタンパク質のはたらきで実現されています．一方で，高分子は，**主鎖や側鎖の分子構造，分子量，形状によって，刺激への応答も機能も制御**することができます．そこで，有機分子・高分子の分子集合体が，マイクロメートルサイズ（細胞サイズ）からセンチメートルサイズ（細胞集団サイズ）であるときの物性の柔軟性や塑性に着目し，研究を展開しています。

以上のように，細胞サイズの空間構造でみられる**生命の“柔らかさ”や“しなやかさ”を，有機分子・高分子が集合化して初めてあらわれる動的システムとしてとらえ**，これを人工的にモデル構築し作動原理を解明することで，生命科学や物質科学の発展に貢献したいと私たちは考えています。

## 主な著書

1) Self-organized Motion: Physicochemical Design based on Nonlinear Dynamics（RSC Publishing, 2018）分担執筆
2) 環状高分子の合成と機能発現（シーエムシー出版, 2018）分担執筆
3) 自己組織化マテリアルのフロンティア（フロンティア出版, 2017）分担執筆
4) エマルションの特性評価と新製品開発・品質管理への応用（技術情報協会, 2014）分担執筆

## 主な原著論文


1) Topology-Reset Execution: Repeatable Post-Cyclization Re-cyclization of Cyclic Polymers, *Angewandte Chemie International Edition*, **58**, 144 (2019).
2) Budding and Division of Giant Vesicles Linked to Phospholipid Production, *Scientific Reports*, **9**, 165 (2019).
3) Irreversible Aggregation of Alternating Tetra-Block-Like Amphiphile in Water, *PLOS ONE*, **13**, e0202816 (2018).
4) Photo-triggered solvent-free metamorphosis of polymeric materials, *Nature Communications*, **8**, 502 (2017).


## 学生へ一言

当研究室では，研究テーマの多くが国内外の研究者との共同研究で進められています。研究活動は，将来的に社会の“元気”の源となる成果を生み出すものです。よって，研究をやっている人どうし（先生も学生も）が密に連携し励まし合って，その中で各人がオンリーワンを目指すことが重要だ，というのが研究室主宰者（豊田）のモットーです。その工夫の一つとして，豊田を含めたメンバーには固有の机がありません（カフェラウンジスタイル）。まずは自分のバックグラウンドとなる基礎を研究室内でじっくり学び，異なるバックグラウンドの人たちとのディスカッションを通じて自分の研究テーマをより深め，研究活動を安全に継続して楽しんで欲しいと願っています。化学の中でも有機化学や高分子化学が好きだという方，また，物性化学やソフトマター，生物物理学，生命起源などの研究に興味のある方は是非一度，当研究室をたずねてください。

## 研究室のメンバー

当研究室は 2009 年 12 月にスタートしました。外研生も積極的に受け入れています。“責任ある自主性”をベースに，アットホームで明るい研究室づくりをしており，学内外の他の研究室とも日頃から頻繁に交流しています。