

公益社団法人 日本化学会 バイオテクノロジー部会

# NEWS LETTER

*Division of Biotechnology, The Chemical Society of Japan*

Vol. 29, No. 1 (2025. 8. 1)

◆巻頭言 .....	1
	清中 茂樹 (名古屋大学)
◆先端研究ウォッチング .....	3
	早水 裕平 (東京科学大学)
◆若手研究者からのメッセージ .....	8
	佐々木 由比 (東京大学)
	竹内 七海 (東京農工大学)
◆バイオベンチャー探訪 .....	19
	佐々木 友樹 (KAICO 株式会社)
◆海外の研究室から .....	24
	佐々木 光一
	(インペリアル・カレッジ・ロンドン)
◆各種研究会、国際会議から .....	30
	若林 里衣 (九州大学)
◆バイオ関連化学シンポジウムのご案内 .....	32
	沼田 圭司 (京都大学)
◆編集後記 .....	35
	若林 里衣 (九州大学)

◆ 巻頭言 ◆

生成 AI とどのように向き合っていくか？

生成 AI の台頭により、10 年前には想像もできなかった社会状況が現実のものとなっている。私自身にとっても、ChatGTP はすでにビジネスパートナーのような存在であり、ちょっとした調べものでも ChatGTP を活用ことで、かなりの時間短縮になっている。例えば、出張のホテル予約時に、「〇月〇日に〇〇（用務先）に近い〇〇（ビジネスホテルの系列名）を教えてください」と尋ねると、空室状況を加味した上で候補を提示してくれる。その後のやり取りで条件を追加できるので、とても便利だ。現時点では、得られる情報はまだ完全ではなく、最終的な判断や検証は人が行う必要があるが、生成 AI ゆえに、その精度は今後さらに高まっていくだろう。

産業界でも、生成 AI が積極的に活用されているようだ。先日、製造業分野の某大手企業の執行部の方と話をした際に、「特許はすべて生成 AI に書かせており、最後に人がチェックする」と言っていた。そうしなければ、中国との競争に勝てないとのことだ。また、社内のレポート作成なども生成 AI を使って書いており、研究者自身が一から文章を書いていると「無駄な時間を使うな」と指摘されるとのことだ。

一方、教育現場においては、生成 AI の活用に頭を抱える教員も多いのではないだろうか？ 私もその一人だ。レポート課題などは、Chat GTP が書けてしまうからだ。論文の要約などは、数秒で書いてしまう。感想ですら、「〇〇の観点に基づいて記載して」と指示すれば、自分の好みにあった優等生の感想文が得られる。我々（教員）側は、学生本人が記述した内容か、それとも Chat GTP の回答かの判断が難しい。問題点は、学生の学習する機会が奪われてしまうことと、成績等の評価基準設定が難しいことにある。現状は、学生側の資質や判断に大きく委ねられる。生成 AI を一方的に拒絶するのは時代にそぐわないため、教育現場に求められているのは、生成 AI の使用を前提にした教育システムの再構築かもしれない。

もちろん、生成 AI が不得手とする部分も存在する。未知なるものを生み出す力、もう 1 つが人の感情を読み取り行動する点である。研究者にとっては、人とのつながりを重要視し、またそのつながりを通じて新しい発想や開発が求められる時代になると考えられる。その意味でも、9 月に京都で開催されるバイオ関連シンポをはじめとして、人的交流の積極性が重要になると思われる。また我々としては、今後大きく変動する将来を不安視するのではなく、その変化を楽しむくらいの柔軟さと気概が大切ではないだろうか？

以下、ChatGTP にこのニューレター執筆を依頼した場合の回答である。優等生の回答ではあるが、表面的なものではある気がする・・・。

=====

清中 日本化学会 バイオテクノロジー部会ニューレターの巻頭言を A4 1 枚以内で書いて

みてもらえますか？最近のトピックスからがいい気がします。例えば、AI との関係性についてなど。

**ChatGPT** 以下に、「日本化学会バイオテクノロジー部会ニュースレター巻頭言」の草案をご提案いたします。A4 一枚以内で、バイオテクノロジーと AI の関係に焦点を当てた内容です。ご要望に応じて調整・加筆も可能です。

巻頭言：AI 時代におけるバイオテクノロジーの再定義

日本化学会バイオテクノロジー部会の皆さま

いつも本部会の活動にご支援を賜り、誠にありがとうございます。

近年、生成 AI をはじめとする人工知能技術の急速な進展が、社会のあり方を根底から揺るがしつつあります。生命科学・バイオテクノロジーの分野もその例外ではなく、実験計画の自動化、高次構造の予測、創薬ターゲットの発見、さらには人工タンパク質の設計に至るまで、AI は研究のあらゆる場面で不可欠なパートナーとなりつつあります。

特に注目すべきは、AI と実験科学の“相補性”です。AI は膨大な文献・データを瞬時に処理し、従来の経験則では見出しにくかった関係性や仮説を導き出します。一方、我々研究者の経験と直観、そして実験的検証がなければ、AI が生み出す予測も実践に活かすことはできません。この協働こそが、現代のバイオテクノロジーに新たなイノベーションをもたらす原動力となるでしょう。

また、AI の倫理的・社会的課題も見逃せません。生命情報やゲノムデータの取り扱い、説明可能な AI (Explainable AI) の重要性、データバイアスによるリスク管理など、科学技術の発展と同時に我々の倫理的責任もますます問われています。

バイオテクノロジーの定義が広がりつつある今、私たちは“バイオ”の可能性を再考し、“テクノロジー”の境界を更新していく必要があります。部会としても、分野横断的な対話の場を積極的に設け、次世代を担う若手研究者の育成や、新しい価値創造に向けた取り組みを加速していきたいと考えております。

本ニュースレターが、皆さまの研究活動に新たな視点をもたらす一助となれば幸いです。

今後ともどうぞよろしくごお願い申し上げます。

日本化学会バイオテクノロジー部会

〇〇〇〇 (←執筆者名をここにご記入ください)

ご希望に応じて、よりカジュアルにすることも、あるいはトピック (例：合成生物学、環境応答、創薬、教育) を変えることもできます。お気軽にお知らせください。

=====

2025 年 7 月 名古屋大学 未来社会創造機構 清中 茂樹

## ◆ 先端研究ウォッチング ◆

2次元ナノ材料表面にペプチドでつくる分子機能界面： グラフェン匂いセンサから人工酵素まで

東京科学大学 物質理工学院  
准教授 早水裕平

### はじめに

私の研究の出発点は固体物性物理にある。大学院時代、GaAs 半導体のナノ構造における光物性を学んだ。半導体素子の性能はその界面の平坦性に依存し、如何にして高品質な界面を形成するかが新規物性発現の成否を左右する。そこで培ったナノ構造に対する理解と計測技術は、後の研究に大きな影響を与えている。学位取得後には、ナノ材料であるカーボンナノチューブの集積デバイス研究に従事した。この研究を通じて実感したのは、実用化を見据えるとナノ材料そのものの性能だけではなく、「界面」の制御が極めて重要であるということであった。カーボンナノチューブやグラフェンのようなナノカーボンが高い比表面積をもち、周辺環境との界面が性能を決定づける。

この課題意識の中で出会ったのが、固体吸着ペプチドという分子ツールである。ペプチドはタンパク質と同様にアミノ酸配列の設計により多様な機能を付与でき、生体分子とナノ材料をつなぐ「界面設計」のための格好の材料であると直感した。ワシントン大学に移り、始めた研究では、固体表面に選択的に吸着するペプチドの設計と評価に取り組み、ナノ材料と生体分子の界面を分子レベルで操るという現在の研究の出発点を確立した。東工大（現・東京科学大学）に着任してからは、界面における生体分子の秩序と機能に着目し、自己組織化ペプチドを用いた2次元材料の電子物性の研究を進めている。ターゲットは一貫して「界面を制御する」ことであり、ペプチド配列設計・自己組織化・機能発現が三位一体となる研究を展開してきた。近年ではバイオセンサをはじめとする応用研究にも展開し、次世代バイオ-ナノ界面の設計原理が少しずつ見え始めている。本稿では、これらの取り組みの中から、特にグラフェンに代表される2次元材料とペプチドを組み合わせた界面設計の最新成果について紹介する。

### 自己組織化ペプチドによる2次元材料の機能化

2001年に Sarikaya らによって提案された固体吸着ペプチドは固体界面の生体分子による精密制御に新しい道を拓いた。私は2010年、ワシントン大学留学時に Sarikaya らとの共同研究を通じて

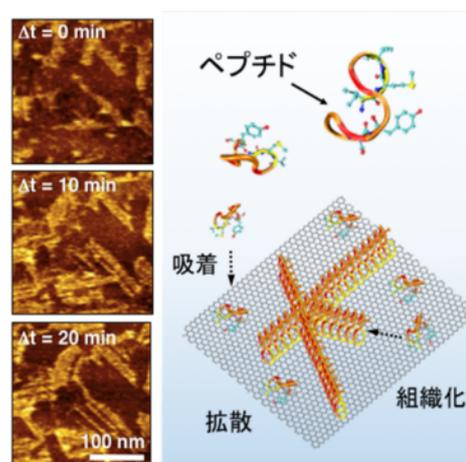


図1: (左)液中原子間力顕微鏡によるグラファイト表面におけるペプチド自己組織化の経時変化。使用したペプチドはグラファイト吸着ペプチド。(右)ペプチド自己組織化過程の模式図

グラファイト吸着ペプチドの設計に成功し、水溶液を滴下するのみでグラファイト表面上に六方対称性をもつ規則的な単分子膜を自己組織化させることを初めて実証した(図1) [1]。これらの自己組織化ペプチドはバイオセンサにおける分子足場としての応用が期待されてきたが、従来のペプチド分子膜は構造安定性や均一性に課題があり、その向上が重要な研究テーマであった。

我々は、この課題に対し、2019年に絹糸タンパク質を模倣した新規ペプチドを設計し、2次元ナノ材料上で高い安定性を有する自己組織化単分子膜の形成に世界に先駆けて成功した[2]。本ペプチドは絹糸タンパク質のアミノ酸配列を模倣したグリシン(G)とアラニン(A)の繰り返し配列から構成され、グラファイト、二硫化モリブデン、窒化ホウ素などの2次元材料表面上に規則的な単分子膜を形成する。さらに、このペプチドは電解質溶液で洗浄しても剥離しない極めて高い構造安定性を示し、その安定性は繰り返し配列によるβシート形成に起因すると考えられる。高解像度原子間力顕微鏡観察により、固体表面上で2次元結晶を形成していることを直接確認しており、バイオナノ界面における信号変換デバイスの開発に不可欠な基盤技術を確立した[3]。

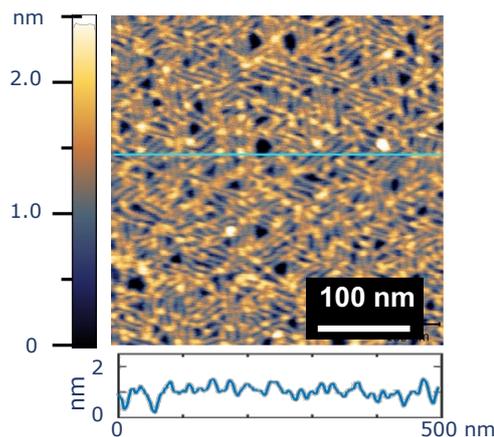


図2: グラフェン表面で自己組織化すペプチドの原子間力顕微鏡画像

### ペプチド修飾グラフェンバイオセンサ：人間の嗅覚を再現できる新技術

ペプチドを利用した2次元ナノ材料界面の精密制御は、グラフェンバイオセンサの開発へと展開した。人間の五感のうち、嗅覚や味覚をバイオセンサで再現することは長らく難題として残されてきた。哺乳類は嗅神経細胞上に発現する嗅覚受容体によって匂い分子を検出し、ヒトは約400種類の受容体を組み合わせて多様な匂いを識別している。動物に匹敵する感度と選択性を持つ匂いセンシングデバイスは五感センシングの中でも最も実現が難しく、特定の匂い分子に高選択的かつ高感度で応答する小型化学センサの開発が長らく求められてきた。

我々は自己組織化ペプチドを利用しグラフェン表面に標的匂い分子に結合するペプチドを高密度に修飾することで、高選択性・高感度を併せ持つグラフェン匂いセンサを開発した(図3) [3]。東京科学大・大河内研究室との共同研究で設計したペプチドは昆虫の嗅覚受容体を模倣し、標的分子への結合能をセンサに直接付与する。リモネンを標的としたセンサでは、匂い分子の溶解した水溶液の濃度10 pM から 10 nM という低濃度領域でレモン香気

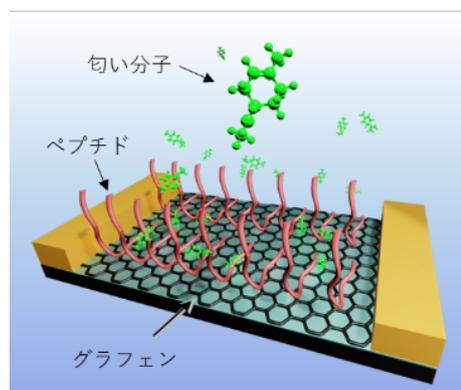


図3: グラフェン・センサ表面に固定化された匂い分子に結合するペプチドの模式図

成分を高感度で検出することを実証した。

さらに気相から直接匂い分子を検出することにも成功し、リモネン分子の光学異性体の匂い判別を世界で初めて高い選択比で達成した (図 4a) [4]。複数種のペプチドを用いて標的選択性を評価した結果、匂い分子の吸着・脱離に伴う電気伝導度の変化を主成分分析し、D 体のリモネンのみを選択的に判別することに成功した (図 4b)。この結果は、ペプチド修飾グラフェン・センサを機械学習技術と組み合わせることで実用的な高感度・高選択性匂いセンサの実現が可能であることを示している。本技術は、生体分子機能を保持したまま電子デバイスに組み込むための汎用的なプラットフォームであり、次世代バイオセンシング応用に向けた重要な基盤となった。

### ペプチドを介した階層的自己組織化を利用した人工酵素の開発

本研究では、ペプチドの自己組織化界面制御技術を触媒機能へと展開し、水溶液中での階層的自己組織化を利用した 2 次元材料表面上の人工酵素の創製を試みた。天然酵素は高い反応選択性と効率を示す一方で、その複雑な高次構造や環境安定性の制約から応用範囲は限定されている。これに対し、ペプチド分子の秩序形成を活かし、ペプチド-補因子-基板の階層的自己組織化を組み合わせることで、分子設計による機能性触媒界面の構築を目指した。

人工酵素活性におけるアミノ酸配列設計の役割を明らかにするため、極めて単純なジペプチド繰り返し配列 (XH)<sub>4</sub> (X=Y, V, L) を設計した。これらの XH ペプチドは水溶液からの自己組織化によりグラファイト電極表面に稠密な分子膜を自発的に形成する。ヒスチジン (H) 残基はヘミンをはじめとする金属錯体補因子との選択的相互作用を担う。X 残基には異なる疎水性を持つアミノ酸を導入し、ペプチド間相互作用およびペプチド-補因子-基板間の結合様式を精密に制御した。

$\beta$  シート型ペプチドとヘミン (鉄ポルフィリン誘導体) を 2 次元材料表面上で階層的に自己組織化させることにより、天然ペルオキシダーゼ酵

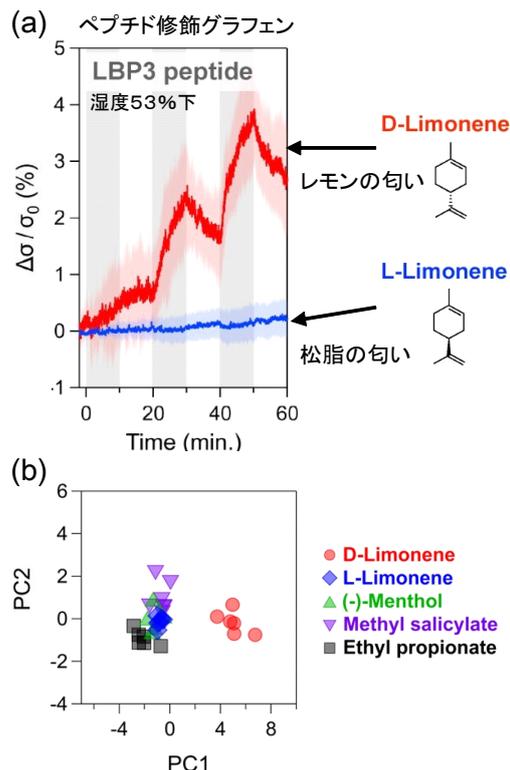


図4: (a) 標的分子の吸着脱離による電気伝導度の変化 (b) 主成分分析によるクラスター分類

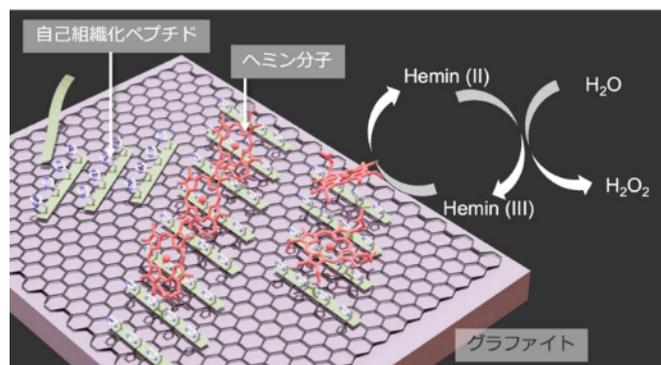


図5: グラファイト電極表面の自己組織化ペプチドに固定化されたヘミン分子と反応の模式図

素に匹敵する触媒活性を示す人工酵素薄膜の作製に成功した（図 5） [5]。自己組織化ペプチドがグラファイト電極上で 2 次元結晶を形成し（図 6）、その上にヘミン分子が秩序正しく配列することで、高密度な活性中心を有する階層構造を実現した。このアプローチにより、電子移動効率の高い固体基板と生体触媒活性を兼ね備えた安定なナノ界面の構築が可能となった。作製した人工酵素膜は、低濃度過酸化水素を用いた酸化反応において天然酵素と同等の反応電流密度を示した。特筆すべきは、ペプチドのアミノ酸配列によって触媒反応が異なる点である（図 7）。この成果は、自己組織化ペプチドを「分子設計可能な人工酵素」として活用する新しい概念を提示するものである。

### おわりに

これらの成果はペプチド分子を用いた界面設計という汎用性の高いアプローチの有効性を示した。特に、自己組織化現象を活用して分子秩序と電子機能を同時に制御するという概念は、従来の化学修飾や材料工学では実現が難しかった精密な界面制御に新しい道を開くものである。さらに、得られた知見は次世代バイオセンサの高感度化・高選択性化のみならず、エネルギー変換、人工酵素、医療診断デバイスといった幅広い応用へ展開可能であり、産業化に向けた強固な基盤を提供する。今後は、ペプチド配列設計の情報化と AI を活用した分子設計、さらには *in vivo* 環境での電子信号変換機構の解明に取り組むことで、バイオーナノ界面科学の新たなフロンティアを切り拓くことを目指す。

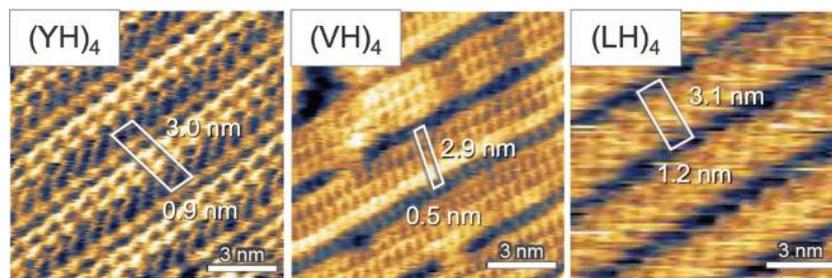


図6: 液中周波数変調原子間力顕微鏡によって観測されたグラファイト表面上のペプチドの構造

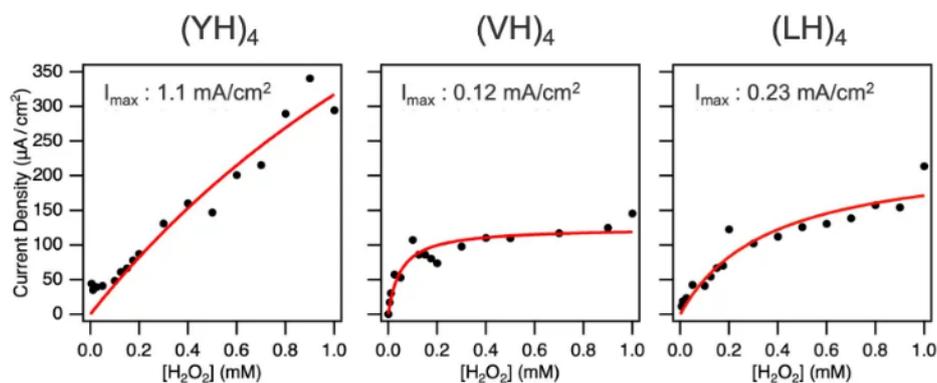


図7: ペプチドに固定化されたヘミン分子の H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 還元反応電流密度の H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 濃度依存性。I<sub>max</sub> は反応電流密度の最大値。フィッティング(赤い曲線)には、ミカエリス・メンテンのモデルを用いた

## 参考文献

- [1] So, C. R., Page, T. R., Hayamizu, Y., Sarikaya, M., Electrochemical Control of Peptide Self-Organization on Atomically Flat Solid Surfaces: A Case Study with Graphite, *Langmuir*, 2018, **34**, 1819–1826.
- [2] Li, P., Sakuma, K., Tsuchiya, S., Sun, L., Hayamizu, Y., Fibroin-Like Peptides Self-Assembling on Two-Dimensional Materials as a Molecular Scaffold for Potential Biosensing, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2019, **11**, 20670–20677.
- [3] Sun, L., Li, P., Seki, T., Tsuchiya, S., Yatsu, K., Narimatsu, T., Sarikaya, M., Hayamizu, Y., Chiral Recognition of Self-Assembled Peptides on MoS<sub>2</sub> via Lattice Matching, *Langmuir*, 2021, **37**, 8696–8704.
- [4] Homma, C., Tsukiiwa, M., Noguchi, H., Tanaka, M., Okochi, M., Tomizawa, H., Sugizaki, Y., Isobayashi, A., Hayamizu, Y., Designable Peptides on Graphene Field-Effect Transistors for Selective Detection of Odor Molecules, *Biosensors and Bioelectronics*, 2023, **224**, 115047.
- [5] Yamazaki, Y., Hitomi, T., Homma, C., Rungreungthanapol, T., Tanaka, M., Yamada, K., Hamasaki, H., Sugizaki, Y., Isobayashi, A., Tomizawa, H., Okochi, M., Hayamizu, Y., Enantioselective Detection of Gaseous Odorants with Peptide–Graphene Sensors Operating in Humid Environments, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2024, **16**(15), 18564–18573.
- [6] Sugiyama, M., Yurtsever, A., Uenodan, N., Nabae, Y., Fukuma, T., Hayamizu, Y., Hierarchical Assembly of Hemin–Peptide Catalytic Systems on Graphite Surfaces, *ACS Nano*, 2025, **19**(14), 13760–13767.

早水 裕平 (はやみず・ゆうへい)

東京科学大学 物質理工学院 材料系 准教授

2005年3月 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻  
博士課程修了、博士(理学)

2005年4月 独立行政法人産業技術総合研究所  
ナノカーボン研究センター・特別研究員

2008年10月 東京大学 物性研究所・特別研究員

2009年2月 ワシントン大学(米国) ポスドク研究員  
(M. Sarikaya 研究室)

2012年4月 東京工業大学大学院理工学研究科工学系  
有機・高分子物質専攻・准教授

2016年4月 東京工業大学物質理工学院 准教授

2024年10月 現職



◆ 若手研究者からのメッセージ ◆

東京大学先端科学技術研究センター  
超域分子機能化学分野  
講師 佐々木 由比

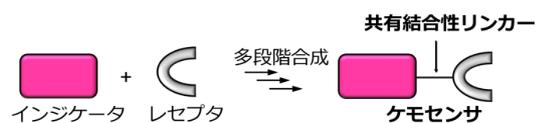
はじめに

この度は九州大学の若林里衣先生よりお声がけいただき、執筆の機会を頂戴する運びとなりました。若林先生をはじめ、バイオテクノロジー一部会関係者の皆様方にこの場をお借りして御礼申し上げます。わたくしは、東京大学生産技術研究所の南豪先生のもとで学位を取得し、2024年より同大学の先端科学技術研究センターにて研究室を主宰しております。南研究室では、超分子材料の社会実装を目指した化学センサの開発を行って参りました。南先生のもとで培った超分子的アプローチを基盤とし、わたくしの研究室では、分子間にはたらく相互作用を活用した機能性材料の創製を主軸とした研究を行っております。その一環として、機能性分子集合体を用いた化学センシングにも取り組んでいます。本稿では、天然の分子認識に着想を得た手法として、分子の自己集合に基づく多成分分析について紹介します。

自己集合型ケモセンサアレイ

ケモセンサは、「化学種認識部位 (レセプタ)」と「情報変換部位 (レポータ)」から構成される分子レベルの光学センサである。認識部位で標的化学種が捕捉されると、その化学情報はトランスデューサを介して光学応答として我々が可視化できるレベルまで増幅される (図 1 (a))<sup>[1]</sup>。ケモセンサは、1) 標的種の分子サイズ・形状を考慮したレセプタの構造、2) 標的種の捕捉時に光学変化を誘導する機構、3) センシング応用のための高い溶解性、などの項目を考慮し、目的に応じて適切に設計する必要がある<sup>[2]</sup>。従来の共有結合型のケモセンサでは、上述の 3 つの項目の中でも、とりわけ分子サイズ・形状の幾何学に基づくセンサ設計に焦点が当てられてきた。しかし、高選択的検出を目指したケモセンサを得るためには、かさ高い分子設計が求められ、それに伴う高度な有機合成スキルの必要

(a) 共有結合型ケモセンサ



(b) 自己集合型ケモセンサ

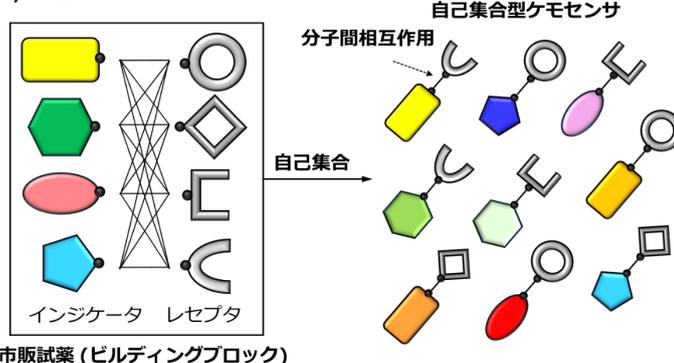


図 1 (a) 共有結合型、(b) 自己集合型ケモセンサ。

性は言うまでもない。従来の共有結合の化学に基づく合成的手段に対して、筆者は、非共有結合の化学に基づく超分子化学的アプローチに着目している<sup>[3]</sup>。本手法では、ビルディングブロック間にはたらく相互作用を適切に選定することで、分子の自己集合をトリガーに比較的容易に機能性材料を得ることができる。すなわち、ビルディングブロックがインジケータ、レセプタ、光学応答を調整するマニピュレータなどの役割を担うため、それらが相互作用した集合体がケモセンサとして機能する (図 1 (b))<sup>[3]</sup>。さらに、容易に手に入る市販試薬をビルディングブロックとして採用し、当該分子間にはたらく相互作用を活用してケモセンサを得る「ゼロ有機合成」は、有機合成化学実験スキルを有さずとも、化学センサをその場でオンデマンド的に調製するための手法となる<sup>[2]</sup>。本稿では自己集合に基づくセンシングの中でも、とりわけ指示薬競合置換試験法 (Indicator Displacement Assay, IDA)<sup>[4]</sup> を用いた例を紹介する (図 2)。IDA は、インジケータとレセプタが自発的に複合化機構を用いる手法である。光学特性を有する本複合体に対して標的種を添加すると、インジケータとレセプタ、レセプタと標的種間に生じる結合親和性の違いに基づき、複合体 (インジケータとレセプタ) からインジケータが遊離し、レセプタと標的種が複合化することで光学特性が変化する。すなわち、適切にビルディングブロックを選定することで、簡便にケモセンサが得られるだけでなく、複合体の形成・解離による光学応答を化学センシングで制御し得る<sup>[4]</sup>。

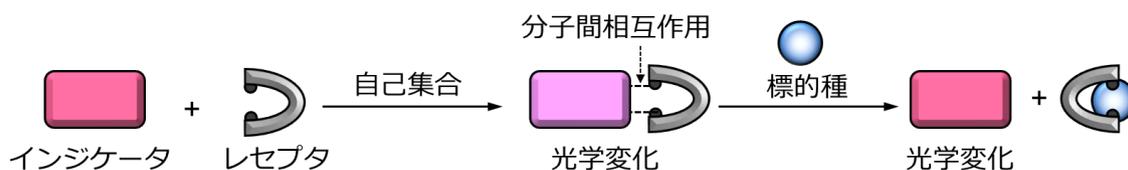


図 2. 分子の自己集合を活用したケモセンシングの例.

### パターン認識に基づく多成分分析

分子認識化学分野において、超分子レセプタが有する固有の低選択性 (=交差応答性) は、選択的検出には不利な特徴と認識されてきた。そのため、天然の分子認識に代表される酵素や抗体に匹敵する高選択性を有する化学センサを得るためには、緻密な分子設計が必要とされる。それに対して、哺乳類の嗅覚系で行われている分子認識機構では、嗅覚受容体の交差応答性が数多くの標的物質を同時に捕捉する上で重要な役割を果たしている<sup>[3]</sup>。すなわち発

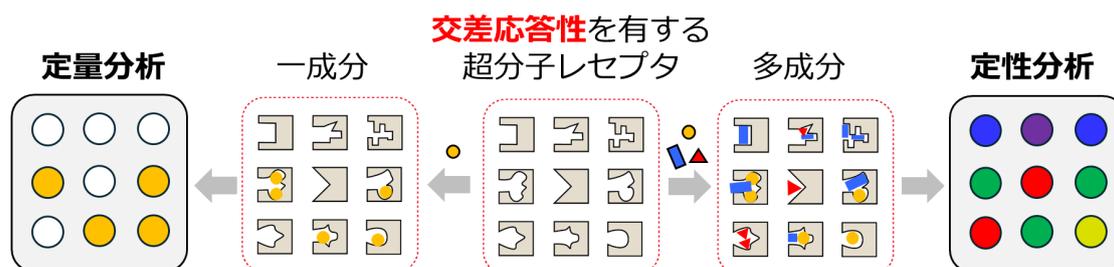


図 3. パターン認識に基づく多成分分析の概念図.

想の転換で、超分子レセプタを実装したケモセンサの交差応答性は、標的種の種類やその濃度を同時に判別するための多成分分析において有利となる。交差応答性のセンサ分子で構成されるアレイは、データ解析用のパターン認識技術との組み合わせによって、多成分の化学情報を定性かつ定量的に分析するための分析ツールとなる (図 3)<sup>5)</sup>。標的種の捕捉によって生じるケモセンサの多彩な光学応答変化はマトリックス化され、パターン認識における入力データとして用いられる。換言すると、高精度な多成分分析を達成するためには、豊富な情報量を含む入力データを得るためのケモセンサの設計が重要となる<sup>3)</sup>。筆者はこれまでの取り組みから、自己集合型ケモセンサが豊富な光学応答パターンを得るための手法として有効であることを見出してきた。本稿では、その中でも「ゼロ有機合成で達成する多成分分析」をテーマに、バイオマーカーとなるリン酸化糖類<sup>6)</sup>とステロイドホルモン類<sup>7)</sup>の定性・定量分析に向けたセンサ設計と実サンプル分析の実施例について述べる。

### リン酸化糖の多成分分析に向けた蛍光性ケモセンサアレイ

生体内において糖類は重要な役割を担っており、解糖系でグルコース、フルクトース-6-リン酸 (Fructose 6-phosphate, F6P)、グルコース-6-リン酸 (Glucose 6-phosphate, G6P) の濃度異常は糖原病を引き起こす原因となるため、リン酸化糖を含めた糖類の多成分分析は意義深い<sup>8)</sup>。フェニルボロン酸は、糖類に対する代表的な人工レセプタであり、リン酸化糖用のケモセンサにも用いられてきたが、複雑な分子設計に起因して数報の報告例に留まっていた<sup>9)</sup>、<sup>10)</sup>。そこで筆者は、有機合成スキルを用いずともリン酸化糖を検出し得る自己集合型ケモセンサを開発し、さらにパターン認識に基づき 14 種類の糖類 (2 種のリン酸化糖と 12 種類の単糖類) の同時判別を試みることにした。蛍光性ケモセンサを設計する場合、分子認識に伴い消光応答が生じる機構では、ノイズや夾雑物質の影響による応答と標的種の認識情報を区別できないため、蛍光オン型のシグナルを示す機構が望ましい。本センサを具現化するために、市販試薬のエスクレチン誘導体 (**1**, **2**) を蛍光性インジケータに、3-ニトロフェニルボロン酸 (3-NPBA) を糖レセプタの役割を果たすビルディングブロックに採用した<sup>6)</sup>。

エスクレチン誘導体は、ニトロ基を有する 3-NPBA とボロネートエステル形成することで、光誘起電子移動に基づく蛍光オフ型の応答を示す。動的共有結合型の複合体に対して標的糖を添加すると、当該複合体からエスクレチン誘導体が遊離し、3-NPBA と糖類の複合化する機構によって蛍光オン型の応答が得られる。このとき **1** (または **2**)、3-NPBA、標的種間で競合応答が生じるため、インジケータと糖類の組み合わせに応じて多彩な蛍光応答が得られることが予想できる。まずは本センサの定性分析能を評価するために、2 種の蛍光性ケモセンサを用いて 14 種の標的種に対する蛍光応答を測定し、その蛍光特性を用いて標的種の種類の判別に挑戦した。パターン認識用の入力データは、2 種ケモセンサ×14 種の糖類×20 回の繰り返し測定に相当する蛍光スペクトル情報が含まれており、これらの化学情報は多次元性のあるデータとして 1 つのマトリックスシートに集約されている。本研究では、線形判別分析 (Linear Discriminant Analysis, LDA)<sup>5)</sup> を用いて、データの次元圧縮と各成分の分類に

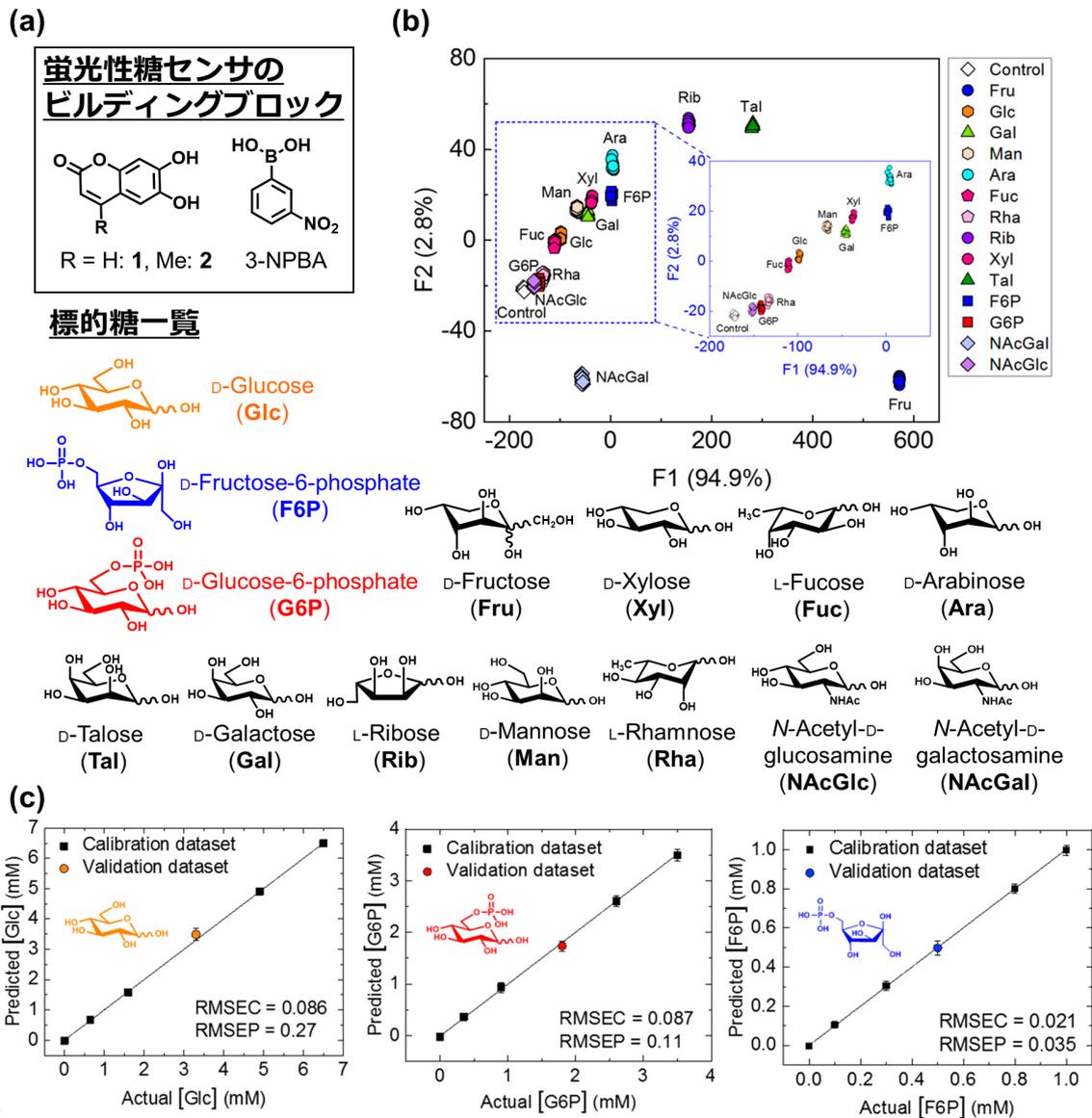


図 4. (a) 蛍光性糖センサのビルディングブロックと標的糖類の構造. (b) LDA による定性分析結果. (c) SVM による定量分析結果.

よる糖類の判別を行ったところ、コントロール（標的種を含まないクラスター）と 14 種の糖類のクラスターは 100%の精度で判別された。更なる試みとして、複数種の標的種が混在する環境下での定量分析を実施することとした。上述のように、グルコース、F6P、G6P の濃度変化は疾病を引き起こす原因となるため、それぞれの濃度を定量的にモニタリングすることは重要である。3 種が共存した環境下でのセンシングでは、センサ応答が非線形性を示す可能性があるため、サポートベクターマシン (Support Vector Machine, SVM)<sup>[11]</sup> を用いて 3 種の標的種濃度を予測することとした。その結果、検量線と予測値に対する二乗平均平方根誤差 (Root Mean Square Error, RMSE) はそれぞれ高い精度での分析結果を示し、SVM を用いて作成した検量線上に配置されたプロットは実測値と予測値が一致した。このように、自己集合型ケモセンサはビルディングブロックの選定によって蛍光 ON 型のシグナルを示す

センサが簡便に得られるだけでなく、類似構造の標的種を高い精度で判別可能なことが明らかとなった。

### ステロイドホルモンの多成分分析に向けた比色ケモセンサアレイ

性機能に重要な役割を果たすステロイドホルモンは、様々な疾病に関連するマーカーであり、それらの定性かつ定量分析は意義深い<sup>[12]</sup>。分子構造には、骨格、官能基、電荷など複数の特徴を含んでおり、分子認識化学においても興味深い標的種である。従って、類似性の高い当該標的種を高精度で判別する技術は、バイオ分析に限らず多岐に渡る研究分野で魅力的である。本節では、自己集合型ケモセンサのアプローチを比色法へと展開し、15種類のステ

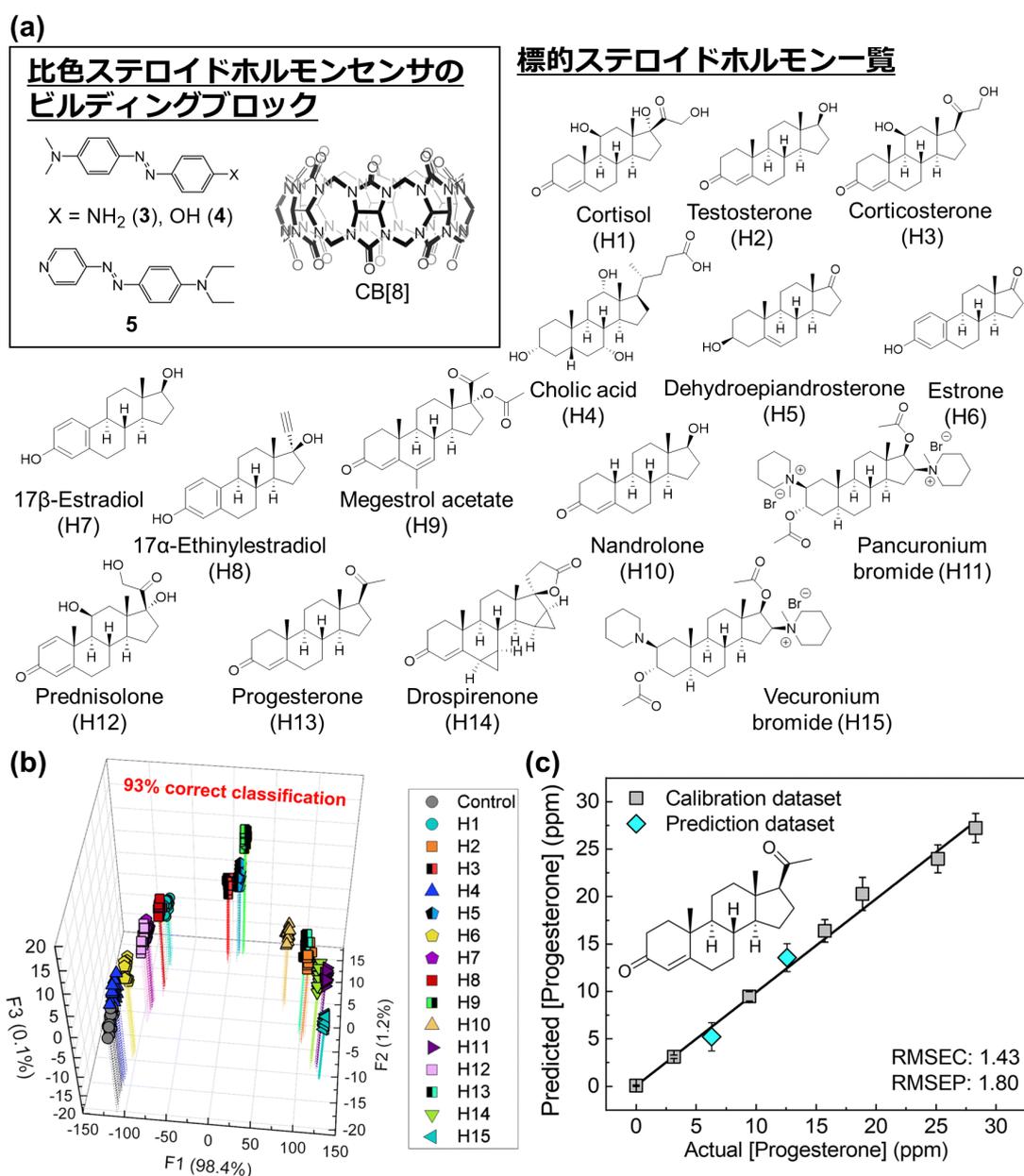


図 5. (a) 比色ステロイドホルモンセンサのビルディングブロックと標的糖類の構造. (b) LDA による定性分析結果. (c) SVM による定量分析結果.

ロイドホルモン (H1-H15) の同時分析と実サンプル分析の実施例について述べる<sup>[7]</sup>。

ステロイドホルモンの骨格は疎水性であり、当該種の捕捉には疎水性の空孔と親水性の官能基の両方を有する大環状レセプタが用いられてきた<sup>[13]</sup>。本研究では、標的ホルモンのサイズを考慮し、ククルビット[8]ウリル (CB[8]) を選定した。CB[8]、インジケータ、標的種間にはたらく競合応答によって比色応答を得るために、インジケータには、アゾ色素 (3-5) を採用した。当該色素は、CB[8]によって包接されると、アゾニウム構造へと変換される。3 と 4 は CB[8]との複合化によって長波長シフトを示すのに対して<sup>[12]</sup>、色素 5 では、ピリジン部位がプロトンアクセプターとして振る舞うために、CB[8]に包接されると短波長シフトする<sup>[14]</sup>。このように、色調変化に特徴のある 3 種の自己集合型比色ケモセンサは、競合応答に基づき 15 種のステロイドホルモンに対して様々な比色応答を示した。本比色応答を LDA を用いて解析したところ、93%の精度で全ステロイドホルモン類を判別した。LDA のグラフに示す各クラスターの位置に着目すると、標的ステロイドホルモンの骨格や官能基、電荷の特徴ごとにカテゴリー分けされ得ることが明らかとなった。更なる取り組みとして、舌痛症のマーカとなるプロゲステロンに対する定量分析を行った。本検証では、SVM を用いてヒト唾液中の標的種の未知濃度を予測した。

## おわりに

身近な生活におけるセンサに焦点を当てると、圧力計や体温計など身の回りに存在する物理センサとは対照的に、化学センサの社会実装は萌芽段階にある。本課題に対して、筆者は有機合成スキルを用いずとも、ビルディングブロックを混合するだけで調製可能な自己集合型ケモセンサを用いて簡便かつ高精度に標的種の構造と濃度を判別し得る化学センサを開発してきた。目には見えない化学情報を可視化する手法は、生体分析のみならず環境や食品など、多岐分野の研究を更に飛躍させると期待している。本稿で紹介した研究は、東京大学生産技術研究所の南豪先生のご指導のもと達成した内容である。南先生をはじめ、本研究に携わる関係者の皆様方に御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] Wang, B. and Anslyn, E. V., *Chemosensors: Principles, Strategies, and Applications*. John Wiley & Sons, Inc.: 2011.
- [2] Sasaki, Y. and Minami, T., *ChemNanoMat*, 2024, **10**, e202300335.
- [3] Sasaki, Y., Kubota, R. and Minami, T., *Coord. Chem. Rev.*, 2021, **429**, 213607.
- [4] Nguyen, B. T. and Anslyn, E. V., *Coord. Chem. Rev.* 2006, **250**, 3118–3127.
- [5] Anzenbacher, P., Jr., Lubal, P., Buček, P., Palacios, M. A. and Kozelkova, M. E., *Chem. Soc. Rev.*, 2010, **39**, 3954–3979.
- [6] Sasaki, Y., Leclerc, É., Hamedpour, V., Kubota, R., Takizawa, S., Sakai, Y. and Minami, T., *Anal. Chem.*, 2019, **91**, 15570–15576.

- [7] Sasaki, Y., Yamanashi, Y., Ohshiro, K., Lyu, X. and Minami, T., *Chem. Commun.*, 2025, **61**, 476–479.
- [8] Nakajima, H., Hamaguchi, T., Yamasaki, T. and Tarui, S., *Muscle Nerve*, 1995, **18**, S28–S34.
- [9] Cabell, L. A., Monahan, M.-K. and Anslyn, E. V., *Tetrahedron Lett.*, 1999, **40**, 7753–7756.
- [10] Horie, S., Kubo, Y., *Chem. Lett.*, 2009, **38**, 616–617.
- [11] Minami, T., Esipenko, N. A., Zhang, B., Kozelkova, M. E., Isaacs, L., Nishiyabu, R., Kubo, Y. and Anzenbacher, P., Jr., *J. Am. Chem. Soc.*, 2012, **134**, 20021–20024.
- [12] Lazar, A. I., Biedermann, F., Mustafina, K. R., Assaf, K. I., Hennig, A. and Nau, W. M. *J. Am. Chem. Soc.*, 2016, **138**, 13022–13029.
- [13] Ma, D., Zhang, B., Hoffmann, U., Sundrup, M. G., Eikermann, M. and Isaacs, L., *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2012, **51**, 11358–11362.
- [14] Martin, S. M., Knepp, Z. J., Thongchai, I. A., Englehart, K., Sorto, K., Jaffer, A., Fredin, L. A. and Young, E. R., *New J. Chem.* 2023, **47**, 11882–11889.

佐々木 由比 (ささき ゆい)

東京大学 先端科学技術研究センター研究科

超域分子機能化学分野 講師

2020年9月 東京大学大学院 工学系研究科

博士課程修了 博士(工学)

2018年4月 日本学術振興会 特別研究員 (DC1)

2020年1月 University of Technology of Compiègne (仏国)

(Karsten Haupt グループ) 訪問研究員

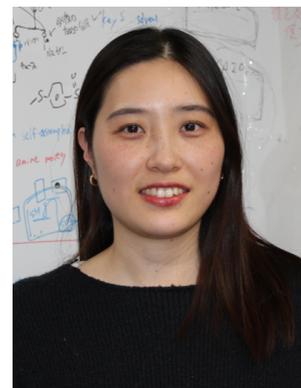
2020年10月 日本学術振興会 特別研究員 (PD) (学位取得に伴う資格変更)

2021年4月 東京大学生産技術研究所 南研究室 特任研究員

2022年6月 同大学 特任助教

2023年10月 JST さきがけ研究者 (兼任)

2024年4月 現職



◆ 若手研究者からのメッセージ ◆

東京農工大学大学院グローバルイノベーション研究院  
川野研究室  
特任助教 竹内 七海

はじめに

本稿執筆の機会を賜り、若林里衣先生をはじめバイオテクノロジー部会の先生方に心より感謝申し上げます。筆者は学部3年次より東京農工大学の川野研究室に所属し、現在も同研究室でナノポアセンシングに関する研究を続けている。博士号取得から2年目を迎え、研究者としても社会人としてもまだ駆け出しの身であるが、「若手研究者からのメッセージ」である本稿では、進路に迷った時期に自分なりに考えていたこと、そして今感じていることを率直に綴りたい。まずは自己紹介として我々の研究成果の概要を紹介し、続いて進路選択にまつわる現時点での考えを述べる。

分子のすがたを電流で捉えるナノポアセンシング

ナノポア計測とは、ナノメートルサイズの孔（ナノポア）を通過する分子を電氣的に検出する分析化学技術である。ナノポアには、生体膜タンパク質が形成するチャンネルを利用する生体ナノポアと、ナノ微細加工技術により人工的に作製される固体ナノポアの2種類がある。本稿では、筆者が主に取り組んできた生体ナノポアについて紹介する。生体ナノポア計測では、電解質溶液中に形成した人工平面脂質二分子膜に、膜タンパク質（例えば  $\alpha$ -hemolysin;  $\alpha$ HL）を再構成してナノポアを形成する（図1）。ナノポアの両側に電極を配置して電圧を印加すると、ナノポアを介してイオンが流れ、これを電流値として観測できる。このとき、溶液中の対象分子が電気泳動や電気浸透流によってナノポア内に侵入・通過すると、イオンの流れが一時的に阻害されるため、その変化を電流阻害シグナルとして検出できる。阻害される電流の大きさや持続時間は、分子の大きさや形状、さらにはナノポア内腔表面との相互作用に依存する。電流阻害シグナルの差異を解析することで、通過した分子の識別や構造情報の取得が可能となる。2015年には Oxford Nanopore Technology 社よりナノポア DNA シーケンサが市販され、現在ではペプチドやタンパク質のシーケンシングへの応用に向けた研究が活発に行われている。川野研究室においても、ペプチド配列を高精度に読み取ることを目指し、ナノポアの人工設計や読み出し戦略の開発を進めている<sup>[1]</sup>。

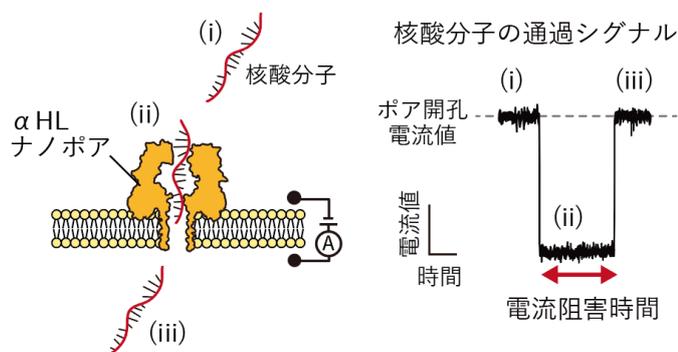


図1  $\alpha$ HL ナノポアを用いた核酸分子検出

## 生体ナノポアによる DNA コンピューティング結果の電氣的解析

シーケンシング技術が注目される一方で、川野研究室ではナノポアを DNA コンピューティングの出力結果を可視化するためのデコーダーとしても活用してきた<sup>[2]</sup>。DNA コンピューティングは DNA 分子を用いて情報処理を行う技術であり、1994 年に情報科学者である L. M. Adleman によって初めて提唱された<sup>[3]</sup>。Adleman は有向ハミルトン閉路問題（すべての都市を一度ずつ巡回する最短経路を探索する問題で、巡回セールスマン問題としても知られる）に対し、都市や経路に対応する DNA 分子を設計・合成し、分子レベルですべての解候補を並列的に構築、その中から条件を満たすものを選択的に抽出するという手法を実証した。この方法では、都市や経路に対応する DNA 分子をあらかじめ設計・合成し、相補的な塩基配列を有する分子同士が自発的にハイブリダイゼーションすることで、膨大な数の解候補となる DNA 複合体を一括かつ並列的に構築することが可能となる。一方で、解の抽出には PCR や電気泳動など複数の生化学的操作が必要であり、処理時間や行程の多さが課題となった。川野研究室ではこの「出力の読み出し」部分にナノポアセンシング技術を導入することで、DNA コンピューティングの結果を電気信号としてリアルタイムかつ高感度に読み出すシステムを構築している。実際に、5 都市・10 経路からなるハミルトン閉路問題をモデルとして、DNA 分子を設計・合成し、解候補となる二本鎖構造の出力分子をナノポア計測によりデコードした。得られた電流阻害シグナルの持続時間を解析することで、各 DNA 構造の識別が可能となり、多段階の生化学的操作を経ることなく最短経路の検出に成功した<sup>[4]</sup>。

## DNA コンピューティングとナノポア計測による microRNA 検出

我々は上記のナノポアデコーディング技術を、がんマーカーである microRNA (miRNA) 検出に展開してきた。miRNA は、20~25 塩基程度の小分子 RNA であり、がんの種類や病期に応じて発現パターンが変動する。そのため、miRNA の複数同時検出はがんの識別において重要である。我々は、胆管がんで特異的に過剰発現する 5 種類の miRNA を標的とし、それぞれと相補的に結合する診断用 DNA を設計した<sup>[5]</sup>。この診断系では、miRNA を「入力分子」、

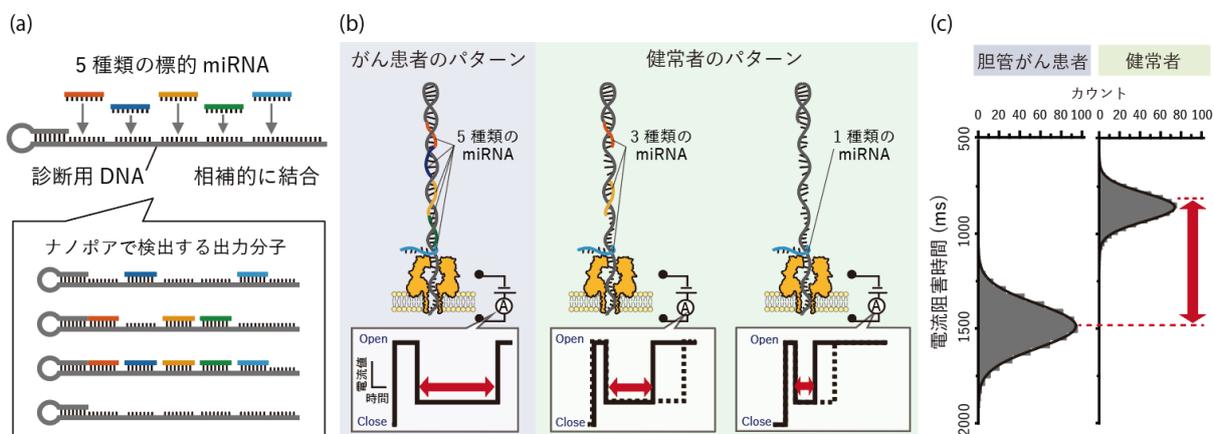


図2 (a) 5種類の miRNA を入力とする分子演算と出力分子。(b) 電流阻害時間の違いによる miRNA 発現パターンの識別原理。(c) 血液検体から抽出した miRNA を入力とする分子演算のデコード結果。

診断用 DNA を「演算分子」、miRNA/診断用 DNA 二本鎖を「出力分子」として自律的な分子演算を行う (図 2a)。αHL ナノポアは、1 本鎖 DNA (直径 1 nm) は通過させるが、2 本鎖 DNA (直径 2 nm) は物理的に通過できないサイズ特性 (直径 1.4 nm) を持つため、miRNA と結合した DNA が通過する際には、結合した miRNA を解離させながらポアを通過する必要がある。このときの電流障害時間は、miRNA の存在量に依存して変化する (図 2b)。実際にかん患者・健常者の血液検体から抽出した miRNA をナノポア計測したところ、miRNA 量の多いがん患者で電流障害時間が長くなり、本システムによりがん患者・健常者の miRNA 発現パターンを検出することに成功した (図 2c)。

ここで筆者らは、血液中の miRNA 濃度が fM ( $10^{-15}$  M) レベルと極めて低濃度であるにもかかわらず、本手法によって検出できるという興味深い発見をした。これは、従来のナノポアセンシングが pM レベルを検出限界とする中で、例外的な高感度検出であった。この現象の背景には、診断用 DNA による分子捕捉効率の向上、局所濃度上昇効果などが関与している可能性がある。詳細については今後の論文にて報告する予定であるが、この現象との出会いは、筆者がアカデミアの道に進もうと決意するきっかけの一つとなった。

#### “はい”と“Yes”で進んできた研究者の道

しっかりとした目標を掲げ、計画的にキャリアを積み上げていく人に憧れを抱きつつも、筆者自身は目の前に現れた流れに身を任せながら進んできたタイプである。研究室に配属されるまでは博士課程への進学をほとんど意識しておらず、研究職についても具体的な将来像は描けていなかった。しかし、ナノポアによる miRNA 検出というテーマに取り組む中で、それを自らの手でかたちにしたいという思いが芽生え、学部 4 年の冬に博士課程への進学を決意した。研究には時間がかかると感じたからである (もっとも、研究には終わりが無いのだが)。当時はあまり意欲的な学生には見えていなかったようで、進学の希望を伝えた際には川野先生を驚かせてしまったことを今でも覚えている。進学を快く受け入れていただいたことには、あらためて感謝申し上げたい。決意を早めに固めたことで、修士 1 年次からは卓越大学院プログラムに参加し、ヘルシンキ大学への短期留学も経験することができた。2 週間という限られた期間ではあったが、異なる研究環境に身を置いたことで視野が大きく広がった。博士課程では共同研究や研究会の運営など、さまざまな機会に恵まれた。楽しみながらも、自分の力の限界を感じる場面も多く、大学で教員を務めることは難しいのではないかと悩むこともあった。博士課程 2 年の初めには就職活動を始め、大学に残るか企業に進むか決めかねたまま、気になる企業のインターンシップに参加していた。研究には未解決の問いが残っていたが、自分の力では大学で働くのは難しいと感じており、納得できる企業を見つけようという思いが強かったように思う。そのような折、川野先生から研究室で働くという選択肢を提示いただき、もう少し挑戦を続けてみようかと大学に残る道を選んだ。もちろん、将来的に研究室を主宰するにはまだまだ力不足であり不安も多いが、同世代や先輩研究者、学生たちの活力に支えられながら、何とか踏みとどまっている。ここまで続けてこられた理由

の一つは、「返事は“はい”か“Yes”」という姿勢で、目の前の機会に積極的に応えてきたことにあると感じている。この言葉は、かつて川野先生が所属していた研究室のボスの言葉で、筆者自身がそうするように言われたわけではないが、心に残っており、迷ったときには「とりあえず“Yes”と言ってやってみよう」と思える指針となっている。共同研究もそうであるが、他者からの提案や呼びかけを受け入れることで、きっかけを逃さず、自分ひとりではたどり着けなかった場所に到達できると信じている。今後も挑戦を支えてくださる皆様への感謝を忘れず、“はい”と“Yes”で歩みを続けていきたい。

## おわりに

本稿では、筆者らがこれまでに行ってきた DNA コンピューティングとナノポアデコーディングについての研究と、筆者が現在に至るまでの経緯をご紹介した。最後に筆者のささやかな実感として添えるならば、学生として取り組む研究と、職業として向き合う研究とでは、同じ研究室に所属し続ける筆者でさえ、感触がかなり異なるということである。“はい”と“Yes”が常に最適とは限らないが、学生の皆さんにはぜひ、今この瞬間を大切にしながら、研究室生活の中で巡り合う多くのきっかけや出会いを存分に活かしてほしいと願っている。上記の研究は筆者が所属する東京農工大学大学院 生命工学専攻の川野研究室で行われた。川野竜司教授ならびに日々ご指導・ご助言くださる研究室の皆さまに深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] Shimizu, K., Mijiddorj, B., Usami, M., Mizoguchi, I., Yoshida, S., Akayama, S., Hamada, Y., Ohya, A., Usui, K., Kawamura, I. and Kawano, R., *Nanotechnol.*, 2022, **17**, 67–75.
- [2] Takiguchi, S., Takeuchi, N., Shenshin, V., Gines, G., Geno, A. J., Nivala, J., Rondelez, Y. and Kawano, R., *Chem. Soc. Rev.*, 2025, **54**, 8–32.
- [3] Adleman, L. M., *Science*, 1994, **266**, 1201–1024.
- [4] Takiguchi, S. and Kawano, R., *Nanoscale*, 2021, **13**, 6192–6200.
- [5] Takeuchi, N., Hiratani, M. and Kawano, R., *JACS Au*, 2022, **2**, 1829–1838.

竹内 七海 (たけうち ななみ)

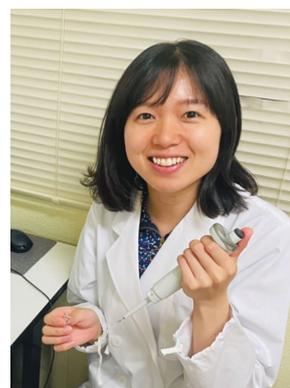
東京農工大学大学院グローバルイノベーション研究院

川野研究室 特任助教

2024年3月 東京農工大学大学院 生命工学専攻

博士課程修了 博士(工学)

2024年4月 現職

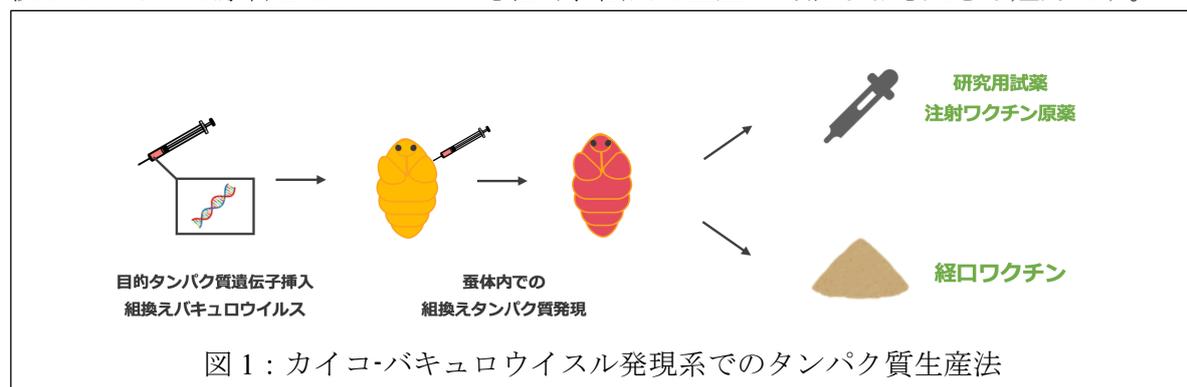


## Change the world with Silkworms

カイコ（蚕）で世界を変えていく。KAICO 株式会社（以下、KAICO）はこの言葉をミッションに、カイコで医薬品を製造することに挑戦し、人々の幸せと持続可能な社会を実現する会社です。人類が生糸の生産に利用してきたカイコは 5000 年以上もの歴史のあるバイオテクノロジーであり、天皇家での養蚕がニュースになるなど日本では馴染み深いものです。そんなカイコがこの令和の時代に世界を変えていくとはどういうことなのか？本稿では、KAICO の紹介を通して、カイコが「衣料」から「医療」へと分野を変えて提供していく新たな価値と、養蚕業の再興についてお伝えしていきたいと思います。

### 会社の創業と現在

KAICO の技術基盤はカイコ-バキュロウイルス発現系という組換えタンパク質の発現系<sup>[1]</sup>です。昆虫を宿主とするバキュロウイルスの中でもカイコを特異的な宿主とするバキュロウイルスを使用します。目的のタンパク質の遺伝子を挿入した組換えバキュロウイルスをカイコに接種すると、カイコ自体がバイオリクターとなり、目的のタンパク質がカイコ体内で産生されます（図 1）。生きたカイコを使用することで、他の発現系ではできない複雑な組換えタンパク質の生産や細胞毒性の高いタンパク質の生産ができ、さらにはカイコの頭数を変えることで容易に生産スケールを変更できるといった利点があります<sup>[2]</sup>。また、培養細胞と比較してカイコは原料としてのコストも低く、国内で生産が可能な点も大きな魅力です。



創業者であり現代表取締役の大和が九州大学のビジネススクール時代に、この技術を使って研究をされている九州大学大学院農学研究院の日下部宜宏教授と九州大学大学院工学研究院の神谷典穂教授に出会ったことが創業のきっかけです。先生方からの技術で世界に貢献したいという後押しもあり、文系出身の大和が 1 からこの技術を勉強して、2018 年に九州大学発のスタートアップ企業として創業しました。創業準備の段階からヒト用ワクチン生産を構

想していましたが、カイコを世界中で利用して貰いたいという思いから、創薬ベンチャーではなく多くのパートナー企業と協力してカイコで新しい製品を生み出すというビジネスモデルを選択しています。

KAICO は上述のカイコ-バキュロウイルス発現系を用いた組換えタンパク質生産プラットフォームをコア技術とした、カイコに特化した CDMO (Contract Development and Manufacturing Organization; 医薬品製剤開発・製造支援事業) として事業を展開しています。具体的には、受託発現サービスで目的の組換えタンパク質を作製し、お客様の研究の進捗に合わせて試薬事業で提供を続け、最終的製品に応じた設備で商業生産した原料を提供しています (図 2)。最終製品は大きく 4 つの事業に分けられており、診断薬・サプリメント事業、動物用注射製剤事業、動物用経口製剤事業、ヒト用医薬品事業です。

受託発現サービスの依頼の多くは他の組換えタンパク質発現系ではうまくいかなかったもので、難易度が高い傾向にあります。最近

は成功確率を高めるために AI を利用したタンパク質の設計にも取り組みはじめました。2022 年には GMP (Good Manufacturing Practice) グレードの精製設備の導入、2024 年には受託・試薬生産の拡大のための研究所の移設と GMP グレードの未精製粉末生産設備の導入を行っています。加えて 2025 年には後述のブタ用飼料添加物の生産設備の拡張を予定しており、お客様のニーズに合わせたタンパク質生産設備の整備を進めています。

以下では、抗体検査サービスとブタ用飼料添加物の 2 つの製品を紹介し、最近の取り組みとして、ヒト用医薬品と原料カイコの調達を紹介します。

## 抗体検査サービス

創業当初は多くの企業から興味を示していただく一方で、「カイコで医薬品原料なんかできるの？」と懐疑的な見方が多く、受託発現トライアルを利用いただく機会は限られていました。そんな中、日本国内で COVID-19 のパンデミックが発生してから僅か 2 か月後の 2020 年 5 月に日下部教授の研究室では COVID-19 のスパイクタンパク質(以下、S タンパク質)の発現・精製に成功しました<sup>3)</sup>。KAICO では試薬としての販売と並行して国内外の製薬企業とのワクチン開発での連携を模索しましたが、当時はカイコがヒト用医薬品の生産に使用された実績がないことが大きく影響し、ワクチン原料とはなりませんでした。

しかし、S タンパク質の試薬販売をきっかけにして(株)プロテックスと ELISA(Enzyme-linked Immunosorbent Assay; 酵素結合免疫吸着測定法)による抗体測定キットを共同開発し、自宅で簡単に採血してポストに投函すると 1 週間程度で検査結果を Web で確認できる「新型

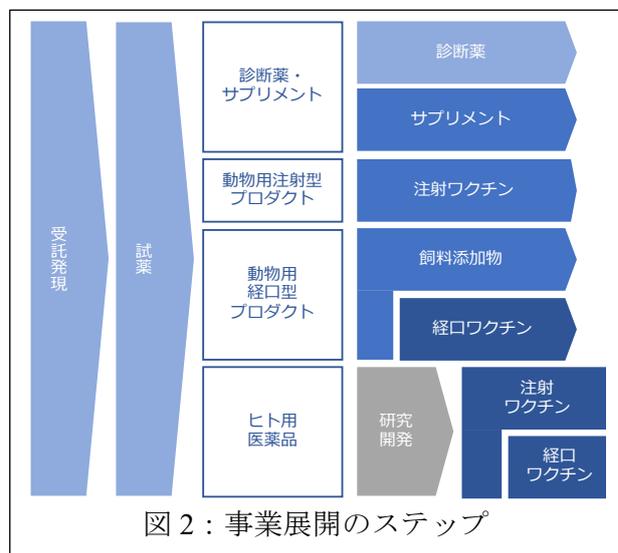


図 2：事業展開のステップ

「新型コロナウイルス抗体測定サービス」を2021年9月に製品化しました（図3）。販売開始から約6か月で1万個の販売を達成し、福岡大学薬学部の薬剤師実習前検査への採用、福岡県那珂川市の職員の方々の利用、福岡市への1,300セットの寄贈など、社会的にも商品の価値が認められました。その後、2022年1月には企業・団体向けのサービスを開始し、同年10月にはオミクロン株に対する抗体価測定も追加するなどアップデートを続けていきましたが、「with コロナ」の時代の到来を機に、2024年にサービスを終了しています。測定系の共同開発だけではなく、実際の測定では(株)シー・アール・シーと連携して迅速で正確な測定が可能な体制を整え、ビジネスモデルの「多くのパートナー企業と協力してカイコで新しい製品を生み出す」を体現する製品となりました。

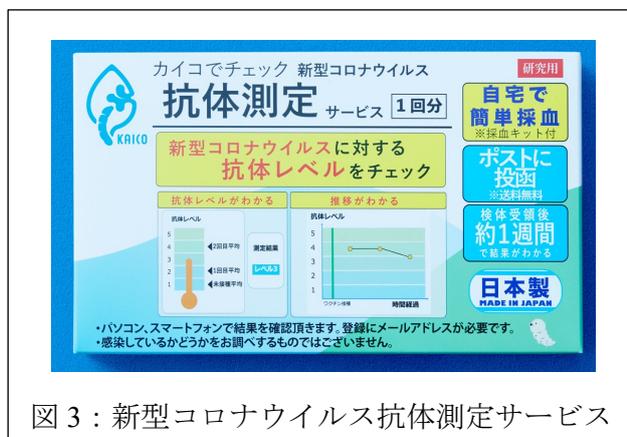


図3：新型コロナウイルス抗体測定サービス

### ブタ用飼料添加物

弊社の技術の最大の特徴は経口ワクチンの開発です。経口ワクチンは注射と比較して侵襲性が低く、接種のためのマンパワーが少なく済むこと、注射器等の資材が不要であることが大きなメリットです。KAICOの目指す経口ワクチンは、抗原を含有する未精製カイコ粉末です。つまり、組換えバキュロウイルスの感染により体内で組換えタンパク質を産生したカイコをそのまま粉末化してワクチンにするという戦略です。最終的目標はヒト用経口ワクチンの実用化ですが、「前人未到」と言われたこのプロジェクトにはレギュレーションの壁など多くの課題があります。実用初期段階として、動物用の飼料添加物として「KAICO Powder for Pig」を開発しました（図4）。この技術は特許を取得しており（特許第7678480号）、ネコやサカナなど他の種でも同様の戦略で開発を進めています。

豚サーコウイルス2型（以下PCV2）は国内外で流行する豚の感染症の原因ウイルスの一つで、感染すると発育不良が起きて、EUでは年間6億ユーロの損失と試算されるほどの大きな経済損失を与えています。既存のワクチンは注射型であり、作業者がブタを一頭ずつ注射する作業は長時間に及び、ヒトにもブタにも精神的、肉体的負担が大きいことが農場で課題となっています。KAICOで開発したPCV2のカプシドタンパク質を発現させたカイコ粉末をブタの飼料に混ぜて経口投与した実験では、ブタが通常と同様に餌を食べることが確認され、投与群では優位にウイルス血症や発育不良の抑制が



図4：KAICO Powder for Pig

確認され、母豚から母乳を介して子豚にも抗体が移行することも明らかになりました。また、注射と比較して投与時の負担が大幅に削減されたことで、試験先の作業者からも非常に好評でした。現在、この製品はベトナム農業農村開発省登録を経て、ベトナム北部最大級の畜産企業であるダバコにて使用が始まりました。ベトナムでの販売に先駆けて、2024年にISO9001「品質マネジメントシステム」を取得し、飼料添加物の品質にも注力しています。

## ヒト用医薬品

ヒト用医薬品事業では、ノロウイルスの精製抗原で注射型ワクチンの開発を進めています。そのきっかけは、日下部教授らのグループの研究課題「カイコ昆虫モダリティによる低価格な国産組換えワクチンに関する研究開発」が、国立研究開発法人日本医療研究開発機構（Japan Agency for Medical Research and Development : AMED）のワクチン開発・生産体制強化戦略関連事業である先進的研究開発戦略センター（Strategic Center of Biomedical Advanced Vaccine Research and Development for Preparedness and Response : SCARDA）の「ワクチン・新規モダリティ研究開発事業」に採択されたことでした。弊社では「ワクチン GMP 製造と非臨床試験」を分担研究しており、2026年度の第1相臨床試験開始に向けて GMP 製法を確立し、安全性試験を開始させています。生きたカイコを使ったヒト用ワクチン生産は世界初の試みであり、本プロジェクトではヒトへの投与に向けた安全性の確保が最大の課題です。この改題に向けて、九州大学を中心としたプロジェクトメンバーと協力してプロジェクトを進めており、PMDA（Pharmaceuticals and Medical Devices Agency；独立行政法人医薬品医療機器総合機構）とも密にコミュニケーションを取っています。九州大学外でカイコの研究をされる先生からも多くの情報・知見を提供いただいております。日本の養蚕業界全体を巻き込んで、このプロジェクトは進行しています。

## カイコの調達と養蚕業の再興

これまでに述べた事業が進むと 2028 年度に 1500 万頭のカイコが必要になります。現在の日本のカイコ総生産量は年間 51 t（約 2550 万頭）で、1500 万頭はその約 60%にあたります。当社が目指すのは養蚕業の再興ですから、既存の製糸産業と共存しながら、新たに 1500 万頭を育てる必要があります。養蚕の最盛期である明治時代には年間 40 万 t（約 2000 億頭）もの生産量がありましたから、日本国内でも十分に実現可能な数字です。

養蚕農家の 6 割が 70 歳以上と高齢化が進んでいることを考慮して、KAICO では自治体や企業と協力して地域経済活性化及び地方創生を目的とした養蚕業再興プロジェクトを提案しています（図 4）。その第 1 弾として 2024 年 3 月に駒ヶ根市と連携協定を締結しました。駒ヶ根市はかつて養蚕が盛んであった地域の一つで、現在でもシルクミュージアムというカイコの博物館があります。協定では、駒ヶ根市で新たに始めた養蚕業で生産されたカイコを全量買い取ることで地域経済の活性化に貢献します。養蚕にはカイコの餌となる桑が必須ですから、養蚕業再興に伴う桑畑の拡大により CO<sub>2</sub>削減が期待され、地球環境にも貢献ができま

す。このプロジェクトでは廃校等の再利用や耕作放棄農地の再活用、雇用創出と地域コミュニティ維持・発展等、地域振興活性化にも寄与することが期待されています。駒ヶ根市との取り組みがモデルケースとなり、協定を結ぶ自治体や企業が増えており、着々と養蚕の輪が広がっています。

これまでの養蚕業では糸の品質を考えてきましたが、弊社で使用する場合には繭の中にあるサナギの品質に目を向ける点が従来の養蚕と異なる新たな取り組みです。これまで養蚕業で培われてきた伝統をベースにして、無菌飼育やソーラーシェアリング養蚕など、多様なアイデアで新たな養蚕が始まっています。



図4：養蚕業再興プロジェクト（駒ヶ根市）

## おわりに

カイコが「医療」で活躍する新たな時代と養蚕業の再興を思い浮かべることができたでしょうか。私たち KAICO は「カイコで世界を変えていく」をミッションに、多くのパートナーの皆様と新たな価値を創造していきます。ぜひ読者の皆様もカイコを利用して頂き、我々のパートナーとして新しいワクワクするような製品を生み出してみませんか？

## 参考文献

- [1] 谷口雅浩, 蛋白質科学会アーカイブ, 2021, 1, e104.
- [2] 福森寿善, 藤井告, 日下部宜宏, 蚕糸・昆虫バイオテック, 2020, 89(2), 77-83.
- [3] Ryosuke Fujita, Masato Hino, Takeru Ebihara, Takumi Nagasato, Akitsu Masuda, Jae Man Lee, Tsuguru Fujii, Hiroaki Mon, Kohei Kakino, Ryo Nagai, Miyu Tanaka, Yoshino Tonooka, Takato Moriyama, Takahiro Kusakabe., *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2020, 529(2), 257-262.

佐々木 友樹 (ささき ともき)  
 KAICO 株式会社 研究開発 シニアマネージャー  
 2013年3月 東北大学大学院 生命科学研究科  
 修士課程修了  
 2021年4月 現職



◆ 海外の研究室から ◆

Department of Bioengineering, Imperial College London

Ishihara Lab

博士研究員 佐々木 光一

はじめに

私は九州大学応用化学科にて、片山佳樹先生、森健先生、岸村顕広先生のご指導のもと 2020 年に博士号を取得しました。幸運なことに、在学当時の九州大学ではリーディング大学院分子システムデバイスコースから長期留学の機会が提供されており、そのおかげで University of Chicago の Jeffrey Hubbell 研究室 (現 New York University) へ留学することができました。現所属で PI を務めている石原純講師とはこの留学中に知り合い、その縁もあって今に至っています。本記事を執筆させていただいている 2025 年 6 月現在、アカデミアの国際情勢は特に米国を中心に、先の見通せない状況ではありますが、私は近い将来、日本国内だけでなく海外の大学・研究所も含めて就職活動をするつもりでいます。今回は、現所属大学の簡単なお紹介から初めて、海外での研究継続を視野に入れるに至った経緯等を共有させていただければと思います。少しでも楽しんで読んで頂ければ幸いです。

**Imperial College London (ICL)**

Imperial College of Science, Technology and Medicine (Imperial College London, ICL) は、その前身である Royal College of Chemistry が 1845 年に設立されて以来続く、比較的歴史の長い理系大学です。生物学・バイオテクノロジー分野で有名な関係者としては、ペニシリンを発見した Sir. Alexander Fleming などが挙げられます。メインキャンパスはロンドン中心部のサウスケンジントンにあり、私の所属する研究室は現在も開発中であるホワイトシティキャンパスにあります。このホワイトシティキャンパスには、Department of Bioengineering, Department of Chemistry, Department of Brain Sciences だけでなく、スタートアップが入居する I-HUB があります。また、徒歩圏内に医学・生物系学科が多く所属する Hammersmith Hospital キャンパスがあ



**White City Campus: 石原研究室は中心の白い建物 (Sir Michael Uren Hub) の 3 階に。**

り、バイオテクノロジー、ケミカルバイオロジー、臨床応用医学といった幅広い研究と、その社会実装をするための環境が整っています。ロンドンという街自体もそうですが、ICLは極めて国際性が高く、学生の約半数が英国人、その他はEU内だけでなく世界中から人材が集まっています。米国留学時は、訪れる街によって特定の人種への偏りがある程度はつきりとあり、自分がマイノリティだと感じることもありましたが、ロンドンではそもそもマジョリティが存在しないかのように感じられ、居心地よく研究生活ができています。

### 偶然の出会いにより、細胞の構成要素の工学から細胞の工学へ

片山佳樹先生の研究室では、抗体のFc領域に結合する環状ペプチドにがん細胞特異的な小分子リガンドを共有結合的に修飾した二重特異性中分子を用い、がん細胞に対して人為的に抗体を集積させ免疫反応を誘導する、というテーマに一貫して取り組みました [1-4]。当時の自分の中には、がんを治すには早期発見が重要だ、という漠然とした考えがありました。上述のテーマも、元々は蛍光分子を修飾したがん細胞リガンドでがん細胞を検出するという趣旨で始まったと記憶していて、蛍光分子修飾リガンドの血中半減期を伸ばすために、血中に豊富に存在するIgGを利用しようという発想で当初は進めていました。研究を進めていく中で、必ずしもFab領域を介して抗原を認識せずとも、抗体はAntibody-Dependent Cell-mediated Cytotoxicity (ADCC) を誘導できるのではということになり、この仮説が正しいことを最終的には示すことができました。

私が取り組んだこれらの分子は、いわゆるAntibody-Recruiting Molecules (ARMs) と呼ばれるもので、PROTAC, LYTAC など近年では一般的になってきたProximity-Inducing/Based Modalitiesの一つと言えます。前述のリーディング大学院の制度を利用した海外留学制度でも、ARMsの開発で世界をリードする研究室に滞在する予定でした。しかし、直前になり先方の都合により計画が頓挫し、急遽別の研究室を探していた時に、岸村先生の伝手で受け入れてくれたのがJeffでした。この偶然により、私はがん治療という軸は維持しつつも、期せずしてタンパク質工学に取り組むことになりました。当時、Jeffのラボで石原ご夫妻が博士研究員として働いていたのも偶然で、自分をお二人が親身に指導・援助して下さったことが、今に繋がっています。この留学では細胞外マトリクス、具体的にはコラーゲンを標的とする薬物送達技術の開発に主に携わり、いくつかの論文に貢献することができました [5,6]。Jeffのラボでの経験は極めて刺激的でした。まず、大学がサイエンスを推進するために相当のリソースを注ぎ込んでいることに、大きな衝撃を受けました。たとえば、University of Chicagoのキャンパス近辺は治安が良くないのですが、大学警察が通学路を警備していて、かつ明け方までキャンパスと近郊の居住区を繋ぐバスが多数循環しており、熱意のある学生や研究員は、それらを利用してハードワークしていました。ラボではランチの時でもサイエンスの話をせずにはいられないような人たちに囲まれて過ごし、アカデミアで研究を続けてみようか、と本気で思い始めたきっかけになりました。また、Jeffのラボからは過去に何十人も卒業生がPIとして独立しており、自分も若いうちに独立して自分の研究

プログラムを立ち上げてみたい、と思うようになりました。

2018年3月までの留学により、研究の対象をペプチド性中分子からタンパク質に広げることができ、タンパク質工学に面白さを感じていましたが、一方で、単一の分子では現状実装することが難しいような複雑かつ高度な機能を作り、医療や基礎研究に貢献できないか、という興味を抱き始めていました。ちょうどその頃、東大薬学部の小嶋良輔先生が留学時に取組まれていたいくつかの仕事[7-9]についてバイオ関連化学シンポジウムにて聴講し、自分のやりたい研究は細胞工学だ、とたちまち魅了されました。九州大学応用化学科には、人工二分子膜を世界で初めて調製し報告された國武豊喜先生らに代表される、分子自己組織化の分野を世界的にリードする先生方や、分子機械への貢献でも著名な新海征治先生らが在籍されていたこともあり、自己組織化した分子機械の究極系とも言える、細胞に無意識の内に惹かれていたのかもしれませんが。とはいえ自分は、ボトムアップで人工分子の自己組織化を目指すよりも、目の前にある細胞と合成生物学の面白さに飛びついてしまいました。ちょうど学位取得前後にコロナ禍が始まり、卒業後は即海外とはいかなかったものの、米国留学時の縁で知り合った大阪公立大学の弓場英司先生のお誘いで、ありがたいことに1年間、国内でポストクをさせていただきました。原田敦史先生、北山雄己哉先生には大変お世話になりました。その後2021年から、石原さんのラボで初期メンバーとして細胞工学のテーマを始めることになりました。

## 英国研究生活

コロナ禍の真っ只中でのラボ立ち上げは苦労も多かったですが、すでに確立したラボに加入していたら得られない経験ができたと感じています。ポストクの最初期段階において、「自分は本当にここまでの苦労をしても、アカデミアに残りたいのか？」という意思確認をするストレステストになったと思います。研究内容としては、主にコラーゲン結合性 Interleukin-12[10]を腫瘍特異的に放出し、固形がんを克服する Chimeric Antigen Receptor (CAR) T cell の開発[11]に主に取り組んできました。このプロジェクトを通して、英国で研究をする強みとして、同じ英語圏である米国との共同研究が抵抗なく行える、ということを感じました。グラント関係の事務手続き等、研究のサポートをやってくださるスタッフの方々同士の意思疎通が問題なく行えるだけで、コラボレーションのハードルがとても小さくなったと感じます。

他にも、自分の目線でこれまで感じた英国と日本との違いをいくつか述べたいと思います(客観的になるよう意識していますが、どうしても主観が混じってしまう点をご容赦下さい)。まず資金面ですが、がん・自己免疫疾患に対する免疫療法を開発している石原研究室の場合、日本に比較してより多くの資金を獲得するチャンスがある印象です。英国特有の事情として、がん治療のためのチャリティ活動が極めて盛んであることが大きな理由の一つです。全てのがんをカバーする Cancer Research UK だけでなく、例えば現在私が資金をいただいている Prostate Cancer UK など、特定のがんのためだけのチャリティが複数存在していて、数千万円から1億円以上の規模のグラントを提供していることも珍しくありません。それら全てに

対して応用の可能性があるがん免疫療法の研究者は、チャンスが多くなります。一方でラボのランニングコスト（共用装置・動物実験設備の利用費など）も日本より高い印象です。ポスドクだけでなく、博士課程学生の雇用費も獲得しなければなりません。それでもトータルでは英国の方が、実質的な研究資金を努力によって増やせる余地が大きいように感じます。

次に研究室の人事についてですが、PIが日本よりも強い人事権を握れることは、欧米で研究室を持つことの魅力でもあり、怖いところでもあると感じます。博士課程学生やポスドクを採用する際、どのように選考し、誰を雇うかについてPIがかな



石原ラボ3周年記念パーティーの様子

りの部分を決めることができます。私の知る日本のシステムの例では、学生達の間で希望研究室について話し合いの場を持ち、成績なども考慮した上で一定数の学生が毎年研究室に割り振られます。このシステムはPIが採用する学生を直接選べないというデメリットがあるものの、一定数の学生が安定して毎年、“無償の労働力”として（博士学生全員に賃金が支払われるべきと考えますが、その点については最後に少し述べています）加入してくれるため、そもそも人が集まらない、という状況になりにくいという点では、良いかもしれません。

研究室のメンバーを決める際には、各人の能力・モチベーション・社会性のばらつきが日本よりとても大きいことに、注意が必要と感じます。日本では、博士課程進学という選択にはある程度の覚悟が伴うと思いますが、こちらでは経済的・社会的にも合理的な選択となりやすいため、その道の険しさを深く考えず応募してくる人が日本より多いです。適性・やる気のない人材を雇ってしまうと、数年に渡ってお互いに不幸な時間を過ごすこととなります。また、モチベーションだけでなく、ラボメンバーに対する礼儀や思いやりといった姿勢も周囲に伝染するので、良いラボを作りたければどれだけ時間をかけてでも、良い人を見つけることが大切だと学びました。若干ネガティブな内容になりましたが、英国は依然として世界中から優秀な研究者を惹きつけています。米国の現状を考えると、少なくとも向こう数年は、最も魅力的な場所の一つと言えるでしょう。異なる背景を持つ優秀な人々と働き、日々刺激と充実感が得られるのは英国の研究環境の大きな魅力です。

## おわりに

大学の紹介に始まり、私のキャリアと日英の研究環境の違いについて述べさせていただき

ました。日本と英国は色々なところが違いますが、現状としては、どちらかが明らかに良いということはなく、一長一短あるなど感じています。但し、博士課程学生は一律で雇用し、給与を支給する、という制度は日本でも完全に実現すべきではないかと考えます。すでに散々議論されているかと思いますが、私もこの流れを後押しするため、この場を借りて意見を述べさせて頂ければと思います。理由としては二つあり、第一に、才能とやる気があるにもかかわらず、ご家庭の事情等で進学を諦めざるを得ないような人々に機会を提供することで、日本をより公平な国に改善できると考えるからです。私も、貧しい家庭に生まれたり、若くして親を亡くしたりしていた可能性もあったはずで、今の境遇に生まれて研究できているのは、単に運が良かったからです。一度きりの人生が少しでもフェアになるよう、日本がこれからも変わって行けたら嬉しいですね。二つ目に、博士課程や研究に対する社会の認識を、改善する効果があると考えます。欧米では、博士課程の学生や研究者だというと、世間の人達がすごいね、と尊敬を持って反応してくれることが多いです。翻って日本では、変人扱いされることも少なくないのではないのでしょうか。別に尊敬されたいわけではないですが、国を支える上で重要な、科学技術を担う職業の社会的評判が低いことは非常にまずいと思います。博士課程が職業として認知されれば、状況は好転するのではないのでしょうか。

長くなってしまいましたが、私の個人的な希望として、ポスドクの次には独立したいので、海外研究機関の公募にも挑戦しようと思っています。また、自分の性格や境遇、能力を最大限に生かして、世の中に貢献するにはどうすべきか、と考えた時に、これまでに築いてきた繋がりを活かして、日本と海外の研究者との架け橋の役割も、今後少しずつ果たしていけたら良いなと考えています。下記にメールアドレスも記載していますので、何かお役に立てることがあれば、お気軽にご連絡下さい。最後になりましたが、本記事の執筆の機会を下さった若林里衣先生、日本学術振興会をはじめこの度の海外留学を支援して下さいっている機関及び、納税者の皆様に心より感謝申し上げます。そして、これまで自分を支えてくれた家族に心から感謝しています。

佐々木 光一 (ささき こういち)

Department of Bioengineering, Imperial College London,  
Research Fellow

Email: [k.sasaki@imperial.ac.uk](mailto:k.sasaki@imperial.ac.uk)

2015年3月 九州大学 工学部物質化学工学科 卒業

2017-18年 Pritzker School of Molecular Engineering,  
University of Chicago, Visiting Student

2020年3月 九州大学大学院 工学府材料物性工学専攻  
博士課程修了 博士(工学)

2020年4月 大阪府立大学 応用化学科 博士研究員

2021年4月 現職



\*\*\*\*\*

## 参考文献

- [1] K. Sasaki, K. Muguruma, R. Osawa, A. Fukuda, A. Taniguchi, A. Kishimura, Y. Hayashi, T. Mori, Y. Katayama, *RSC Med. Chem.*, 12, 406-409 (2021).
- [2] K. Sasaki, M. Harada, T. Yoshikawa, H. Tagawa, Y. Harada, Y. Yonemitsu, T. Ryujin, A. Kishimura, T. Mori, Y. Katayama, *ChemBioChem* 21, 1-6 (2020).
- [3] K. Sasaki, M. Harada, Y. Miyashita, H. Tagawa, A. Kishimura, T. Mori, Y. Katayama, *Chem. Sci.*, 11 (12), 3208-3214 (2020).
- [4] K. Sasaki, Y. Miyashita, D. Asai, D. Funamoto, K. Sato, Y. Yamaguchi, Y. Mishima, T. Iino, S. Takaishi, J. Nagano, A. Kishimura, T. Mori, Y. Katayama, *MedChemComm*, 9 (5), 783-788 (2018).
- [5] K. Sasaki, J. Ishihara, A. Ishihara, R. Miura, A. Mansurov, K. Fukunaga, J. A. Hubbell, *Sci. Adv.* 5 (8), eaaw6081 (2019).
- [6] J. Ishihara, A. Ishihara, K. Sasaki, S. S.-Y. Lee, J.-M. Williford, M. Yasui, H. Abe, L. Potin, P. Hosseinchi, K. Fukunaga, M. M. Racz, L.T. Gray, A. Mansurov, K. Katsumata, M. Fukayama, S. J. Kron, M. A. Swartz, J.A. Hubbell, *Sci. Transl. Med.* 11, eaau3259 (2019).
- [7] Kojima, R., Bojar, D., Rizzi, G. *et al.* Designer exosomes produced by implanted cells intracerebrally deliver therapeutic cargo for Parkinson's disease treatment. *Nat Commun* 9, 1305 (2018).
- [8] Kojima, R., Scheller, L., Fussenegger, M. Nonimmune cells equipped with T-cell-receptor-like signaling for cancer cell ablation. *Nat Chem Biol* 14, 42-49 (2018).
- [9] Kojima, R., Fussenegger, M. Engineering Whole Mammalian Cells for Target-Cell-Specific Invasion/Fusion. *Adv. Sci.* 5, 1700971 (2018).
- [10] Mansurov, A., Ishihara, J., Hosseinchi, P. *et al.* Collagen-binding IL-12 enhances tumour inflammation and drives the complete remission of established immunologically cold mouse tumours. *Nat Biomed Eng* 4, 531-543 (2020).
- [11] K. Sasaki, V. Bhatia, Y. Asano, J. Bakhtiari, P. Kaur, C. Wang, T. Matsuo, M. Nikolaidi, P.C. Chiu, O. Dubois, T. Chong, G. Javier, S.J. Priceman, A.G. Chapuis, J.K. Lee, J. Ishihara, Collagen-binding IL-12 expressing STEAP1 CAR-T cells reduce toxicity and eradicate mouse prostate cancer in combination with checkpoint inhibitors, *BioRxiv* (2024).

\*\*\*\*\*

◆ 研究会・国際会議から ◆

The 19<sup>th</sup> International Symposium on Macrocyclic and Supramolecular Chemistry 2025  
(ISMSC 2025) in conjugation with 9<sup>th</sup> NanoLSI Symposium

九州大学大学院工学研究院  
准教授 若林 里衣

2025年5月25～30日の6日間に渡り、ロームシアター京都およびみやこメッセで ISMSC 2025 が開催されました。ISMSC は、ホスト-ゲスト化学を支える大環状化合物、超分子化学分野の研究を推進する研究者が集い、研究発表や各種イベントを通じて活発な討論が繰り広げられる国際シンポジウムです。当該分野で最も大きな国際的なイベントの一つであり、全世代の研究者が世界中から集まります。また、年々参加者、発表件数が増える中でも、発表は一会場で行い、全参加者が集って全発表を聴講するというスタイルが引き継がれているのも特徴です。

第 19 回を数える今回のシンポジウムには、総数 969 名もの参加者が集い、その内、海外からの参加者 476 名という大規模な国際シンポジウムとして開催されました。シンポジウムでは、Plenary Lecture および Memorial Lecture 3 件、Keynote Lecture 6 件、Invited Lecture 28 件に加え、超分子化学に関連する受賞講演 5 件、76 件の口頭発表と 700 件を超えるポスター発表が行われました。元々 Plenary Lecture を予定されていた Prof. J. F. Stoddart が昨年末に逝去されたのは大変残念な出来事でありましたが、Stoddart 先生を偲んだ Memorial Lecture が Prof. D. A. Leigh により行われ、また Stoddart 先生との思い出が数々の講演の中で語られたのも印象的でした。全体スケジュールとして、初日の午後から始まった研究発表が最終日の午前中まで続きました。当初予定されていたエクスクーションはキャンセルにして、発表件数を確保する等、研究討論に懸ける思いが感じられるプログラムでした。

本シンポジウムでは、大環状化合物および超分子化学に関連する幅広い研究領域が取り上げられました。特に、非平衡条件下における自己組織化や構造変化を伴う MOF やかご型化合物による分子包接・放出制



オープニングで参加者数の発表をされる実行委員長の生越先生

御など、分野で注目されるトピックに加え、動的共有結合や可逆的結合を利用した自己修復性、再利用性、環境適応性といった持続可能な高分子材料に関する研究発表が多数みられました。また、DNA や RNA を構成要素としたデリバリー材料や、ナノスケールの界面を可視化する AFM 技術など、生命化学や計測技術との融合分野に関するバイオテクノロジー部会と関連の深い内容の発表もあり、超分子化学の応用範囲や社会的価値の拡張を強く印象付けるものでした。

また、研究発表以外のイベントとして、1 日目夜に開催された **Getting Together** や 5 日目のバンケット、毎日のコーヒブレーク、ランチの時間には、国境を超えて再会を喜ぶ参加者や講演内容について熱心に討論を続ける研究者、著名な先生に緊張しながらも勇気を出して話しかける学生・若手研究者など、積極的に交流を図る参加者で大変盛り上がりおりました。興味深いイベントとして、3 日目の午後に企画された”**Women in Supramolecular Chemistry (WISC)**” では、WISC メンバーと日本の実行委員や関係者が登壇し、1<sup>st</sup> generation 問題についての討論が行われました。てっきり女性研究者特有の育児・介護問題などが話題になるのかと思っていましたが、日本ではあまり聞き馴染みのない研究の世界での 1<sup>st</sup> generation 問題について知る機会となり、国際的なイベントに参加することの意義を感じた瞬間でもありました。

本シンポジウムには、私は **Local Organizing Committee** として関わらせていただきました。ほとんどの企画・運営は、Chair の京都大学 生越先生や Co-Chair の金沢大学 秋根先生、千葉大学 矢貝先生をはじめ、実行委員の中心となる先生方でなされたこともあり、私自身はほとんど一参加者としてシンポジウムを楽しむ立場でありましたが、これだけの規模のシンポジウムを企画・運営される先生方のリーダーシップを間近で見ることができたのは大きな財産となりました。また、バイオテクノロジー部会には、ISMSC2025 の協賛をいただきました。部会長の名古屋大学 堀先生をはじめ、バイオテクノロジー部会の皆さまにこの場を借りて厚く御礼申し上げます。来年は 7 月 5~10 日の日程で、フランスのボルドーにて開催予定です。



◆ 第 19 回バイオ関連化学シンポジウムのご案内 ◆

(第 40 回生体機能関連化学シンポジウム・第 28 回バイオテクノロジー部会シンポジウム)

会期：

2025 年 9 月 2 日(火)～4 日(木)

会場：

京都大学桂キャンパス (京都府京都市西京区京都大学桂)

<https://www.t.kyoto-u.ac.jp/ja/access/katsura>

主催：

日本化学会生体機能関連化学部会、日本化学会バイオテクノロジー部会

討論主題：

ペプチド・タンパク質・酵素・核酸・糖鎖・脂質・分子認識・超分子・生体モデル系・  
遺伝子・DDS 等が関連する幅広いバイオ関連化学

発表形式：

ポスター発表 (原則 1 日目および 2 日目)

口頭発表 (全日で 15 分間発表、5 分間質疑応答)

招待講演：

浜地 格 先生 ( 京都大学 大学院工学研究科 教授)

参加登録費：

部会員：一般 11,000 円、学生 6,000 円、

非部会員：一般 13,000 円、学生 7,000 円

懇親会：

9 月 3 日 (水) 開催

一般 8,000 円、学生：4,000 円 ※詳細はホームページでお知らせします。

参加登録費・懇親会費は下記ホームページよりお支払ください。

<https://pub.conf.it.atlas.jp/ja/event/biosympo2025>

実行委員会：

委員長：沼田 圭司 (京都大学 大学院工学研究科)

副委員長：跡見 晴幸 (京都大学 大学院工学研究科)

委員：秋吉 一成 (京都大学 大学院医学研究科)、大庭 誠 (京都府医科大学 医学部医学科)、  
角五 彰 (京都大学 大学院理学研究科)、後藤 佑樹 (京都大学 大学院理学研究科)、  
佐々木 善浩 (京都大学 大学院工学研究科)、竹中 瑞樹 (京都大学 大学院理学研究科)、  
高橋 俊太郎 (甲南大学 先端生命工学研究所)、田村 朋則 (京都大学 大学院工学研究科)、  
野中 洋 (京都大学 大学院工学研究科)、野村 幸汰 (京都大学 大学院工学研究科)、  
寺田 佳世 (京都大学 大学院工学研究科)

問い合わせ先：

〒615-8246

京都大学大学院工学研究科材料化学専攻高分子材料化学講座生体材料化学分野

沼田研究室内 E-mail : [bio2025@t.kyoto-u.ac.jp](mailto:bio2025@t.kyoto-u.ac.jp)



# 第19回 バイオ関連化学シンポジウム

第40回  
生体機能関連化学シンポジウム  
第28回  
バイオテクノロジー部会シンポジウム

## 討論主題

ペプチド・タンパク質・酵素・  
核酸・糖鎖・脂質・分子認識・  
超分子・生体モデル系・遺伝子・DDS・  
細胞等が関連する幅広いバイオ関連化学

## 招待講演

浜地 格 先生  
(京都大学 大学院工学研究科 教授)

発表申込期間 2025年5月26日(月)～6月13日(金)  
事前参加登録期間 2025年5月26日(月)～7月11日(金)

2025年

9月2日(火) - 4日(木)

京都大学  
桂キャンパス  
(京都市西京区)



主催：日本化学会生体機能関連化学部会・日本化学会バイオテクノロジー部会  
共催：日本化学会 / 日本薬学会 / 繊維学会 地球に優しい繊維材料研究委員会 / 日本ケミカルバイオロジー学会 / 京都大学大学院工学研究科 /  
日本化学会フロンティア生命化学研究会 / 日本糖質学会  
後援：高分子学会 / 理化学研究所 環境資源科学研究センター  
実行委員長：沼田 圭司(京都大学 大学院工学研究科) 副実行委員長：跡見 晴幸(京都大学 大学院工学研究科)

シンポジウムweb ページ: <https://pub.conf.it.atlas.jp/ja/event/biosympo2025>



## ◆編集後記◆

前号に引き続き、九州大学の若林がニューズレターの編集を担当させていただきました。お忙しい中、原稿依頼をご快諾・ご寄稿いただきました皆さまに、心より御礼申し上げます。

「巻頭言」には、名古屋大学の清中 茂樹先生より、日常生活だけでなく研究や教育の現場で生成 AI とどう向き合っ (付き合っ) いくかという、今まさに私たちが日々直面しているトピックについてご寄稿いただきました。実際に「巻頭言：ChatGPT バージョン」を織り交ぜるとい趣向を交えられており、清中先生の書かれた文章との対比を興味深く感じました。「先端研究ウォッチング」は、東京科学大学の早水 裕平先生に、ペプチド吸着により界面制御した 2 次元ナノ材料についてご紹介いただきました。グラフェンをはじめとする 2 次元材料上に安定に自己組織化膜を形成することで、バイオセンサや人工酵素に展開可能とのこと、感銘を受けました。拡張性の高いご研究で、今後の展開も大変楽しみにしております。

「若手からのメッセージ」は、新進気鋭の若手研究者として東京大学の佐々木 由比先生、東京農工大学の竹内 七海先生にご執筆いただきました。佐々木先生からは、自己集合型のケモセンサを用いた多成分分析のご紹介をいただきました。ゼロ有機合成で構成される超分子レセプタの交差応答性とパターン認識技術を融合されたバイオマーカの鮮やかなセンシングに驚かされました。竹内先生からは、ナノポアセンシング技術を用いた DNA コンピューティングとがんマーカの高感度検出についてご紹介いただきました。若手研究者としての歩みやご自身の考えについても綴っていただき、学生の皆さんに響く内容をどうもありがとうございます。「バイオベンチャー探訪」は KAICO 株式会社の佐々木 友樹さんにご執筆いただきました。日本の歴史と関係の深いカイコが医療分野で新たな価値を生み出されていること、養蚕業の再興を通して地域創生にも踏み込まれていることなど、壮大なビジョンに感銘を受けました。「海外の研究室から」は、インペリアル・カレッジ・ロンドンの博士研究員である佐々木 光一さんに執筆いただきました。留学のきっかけや英国での研究生活、日本との違いなど、丁寧な文章から佐々木さんの研究者としての姿勢だけでなく人柄も垣間見えます。学生さんや様々なステージにいる研究者の皆さまの参考になればと思います。「各種研究会、国際会議から」は、若林よりバイオテクノロジー部会に協賛いただいた ISMSC2025 の参加報告をさせていただきました。最後に、第 19 回バイオ関連化学シンポジウム 実行委員長の京都大学 沼田 圭司先生よりシンポジウムのご案内をいただきました。

記録的猛暑という言葉が日常になってしまった 2025 年夏ですが、会員の皆さまには暑さに負けない熱い夏を過ごされ、9 月の京都でお会いできるのを楽しみにしております。

次号 Vol. 29, No. 2 は 2026 年 2 月 1 日の発行を予定しております。

(九州大学大学院工学研究院 若林里衣)

NEWS LETTER Vol. 29, No.1 (2025 年 8 月 1 日発行)

事務局：〒101-8307 東京都千代田区神田駿河台1-5, 日本化学会バイオテクノロジー部会

Office of Secretary: The Chemical Society of Japan, 1-5, Kanda-Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo 101-8307, Japan