

共同利用研究ハイライト

軟X線吸収分光法による酸素生成触媒のオペランド観測

吉田 真明 慶應義塾大学理工学部化学科 助教

1. はじめに

近年、家庭用燃料電池・エネファームや燃料電池車が登場するなど、水素を化学エネルギーとして使用する水素エネルギー社会の到来が現実的なものとなりつつある。現在の水素の製造方法は化石資源に依存しているが、将来的には太陽光、風力、水力などの再生可能エネルギーを利用して水から水素を製造することで、真の持続可能社会を構築できるものと期待されている。そのためには水を電気分解する水素生成と酸素生成の触媒が必要であり、高効率な水素生成触媒はすでに開発されていることから、水を効率的に酸化して酸素を生成する優れた酸素生成触媒の開発が強く求められている。

そんな中、最近リン酸やホウ酸緩衝溶液中で機能するリン酸コバルト (Co-Pi) およびホウ酸コバルト (Co-Bi) 触媒が開発され、安価な材料で効率的に水を酸化できる触媒として注目を集めている^[1]。これらの触媒は、硬X線を

用いたCo-K端X線吸収微細構造(XAFS)法によって触媒反応中の解析が進められており、X線吸収端近傍構造(XANES)法によってCo³⁺からCo⁴⁺へ電子状態が変わることや、広域X線吸収微細構造(EXAFS)法によってCo周りに6個のOが配位したCoO₆八面体構造の層状クラスターとして存在していることが分かっている^[2]。しかしながら、硬X線XAFSではCo周りのOについての詳細な情報は得られず、Co-PiとCo-Bi触媒の活性の違いを分光学的に説明できていない。そこで本研究では、近年開発された軟X線オペランドXAFS法を利用することで、軽元素まで含めた詳細な触媒の構造を明らかにすることを考えるに至った。

2. UVSOR BL3Uでの実験

透過法による電気化学軟X線XAFS測定は分子科学研究所のUVSOR-IIIの軟X線アンジュレータービームラインBL3Uで行った。この測定法は同研究

所の小杉グループによって開発されたもので、100~150 nmのSiC (あるいはSi₃N₄)膜2枚に数百nmほどの溶液層を挟むことで軟X線が透過できるようにし、透過法による電気化学XAFS測定を可能にしたものである^[3]。筆者らは、金を蒸着したSiC膜に酸素生成触媒を電析したものを作用電極として用いることで、固液界面で機能する酸素生成触媒のO-K端オペランドXAFS測定を行えるのではないかと考え、実験に着手した^[4]。

まず始めに、0.0 Vの電極電位においてCo-Bi触媒のO-K端XAFS測定を行うと、530.1 eVと531.1 eV付近に吸収ピークが観測され、酸素生成触媒のO-K端XAFS測定を問題なく行えることを確認した(図2)。このスペクトルはCoOOHのスペクトルと一致しており、Co-Biの局所構造はCo周りにOが6個配位したCoOOH構造であるということが分かった。続いて、電極電位を少しずつ上げてO-K端XAFS測定を行うと、0.55 V以上から低エネルギー側の529.1 eV付近に新たな吸収ピークが観測された。これは、Co 3dのt_{2g}軌道が空いてO 2p軌道と混成したためだと考えられ、酸素生成反応が進行する高電位においてCoOOHの一部がCoO₂に構造変化することが示唆された。さらに同様の実験をCo-Pi触媒についても行うと、CoO₂由来の低エネルギー側の吸収ピークがCo-Biよりも顕著に観測され、Co-Piの方が多くのCoO₂種を生成することが分かった。電気化学測定の結果からCo-Piの方がCo-Biよりも高い酸素生成活性を持ち、Co-K端EXAFS測定の結果からCo-Piの方が小さなCoO₆クラスターを生成することが示されていることから、Co-Pi触媒の方が縁部分に多くのCoO₂種を生成することで高い酸素生成活性を持つことが明らか

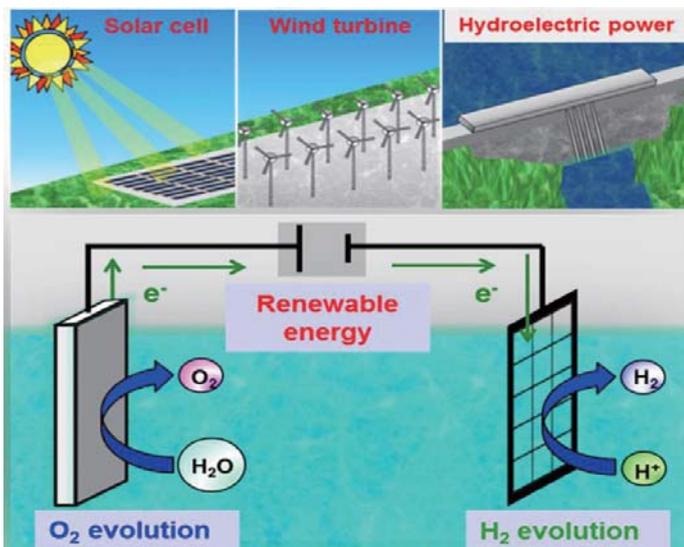


図1 再生可能エネルギーによる水素の製造。

かになった (図3)。

筆者らは最近、アミノ酸が遷移金属酸化物クラスターを集積化することを独自に見出しており、三次元的に機能する高活性な酸素生成触媒の開発に成功している。そのため今後は、軟X線オパールXAFS法によって触媒内のアミノ酸の電子状態や結合状態を明らかにし、三次元的に反応場を持つ高活性な新規触媒の開発へとつなげていく予定である。

3. おわりに

本研究を進めていく上で、分子科学研究所の協力研究 (25-603, 26-206, 27-218) に採択され、大変お世話になりました。大学の若手教員は旅費の工面でも苦労する中で多くの支援をしていただき、学生たちと共に実りある実験を行うことができました。大変感謝しております。学会発表や論文発表などを通して、これまでのご支援にお応えしていく所存でございます。

UVSORのBL3Uの実験にあたっては、分子科学研究所の小杉信博教授、長坂将成助教、湯澤勇人博士に多大な研究協力をしていただきました。また、筆者が所属する慶應義塾大学の近藤寛教授と修士1年生の光富耀介君を始めとする学生の皆さんに多くのことでご協力いただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

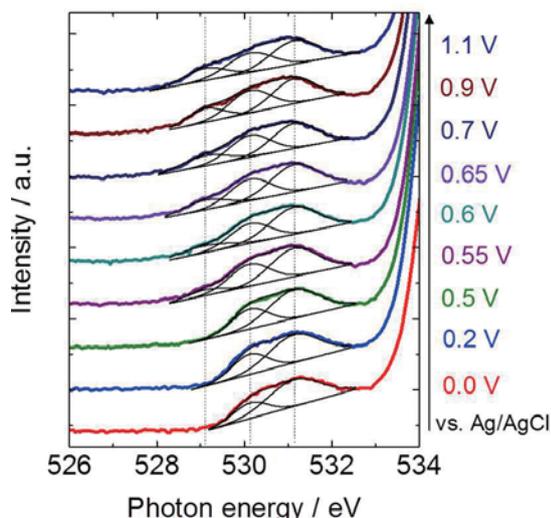


図2 Co-BiのO-K端XAFSスペクトル。

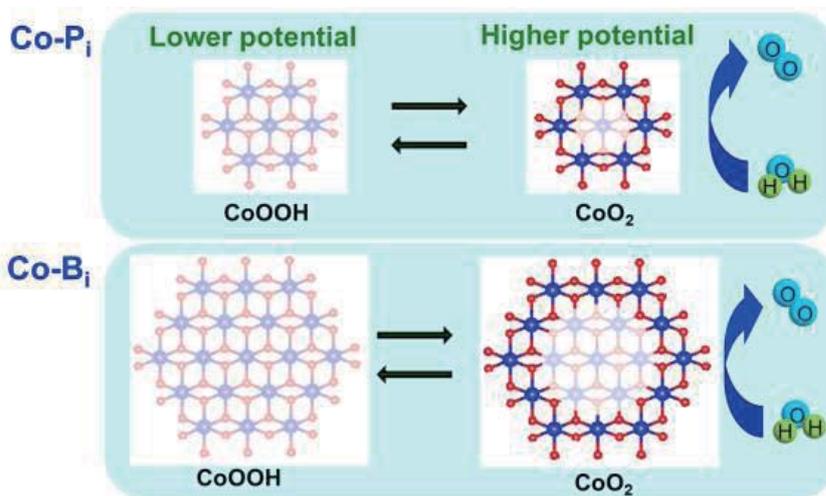


図3 Co-PiとCo-Biの酸素生成反応モデル。

参考文献

- [1] D. G. Nocera et al., *Science*, **321**, 1072 (2008); *J. Am. Chem. Soc.*, **131**, 2615 (2009).
- [2] V. K. Yachandra et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **132**, 13692 (2010).
- [3] M. Nagasaka et al., *J. Phys. Chem. C*, **117**, 16343 (2013).
- [4] M. Yoshida et al., *J. Phys. Chem. C*, **119**, 19279 (2015).



よしだ・まさあき

【略歴】

2005年3月東京工業大学理学部化学科卒業
2007年3月東京大学大学院工学系研究科修士課程修了
2010年3月東京大学大学院工学系研究科博士課程修了 博士(工学)
2010年4月～現在慶應義塾大学理工学部化学科助教
2013年8月～現在北海道大学触媒化学研究センター 共同研究フェロー(兼任)

【近況】

様々なエネルギーのX線を用いて、「水分解触媒のオパール観測」をテーマに研究を展開。

共同利用研究ハイライト

磁気ボトル型電子エネルギー分析器による多電子同時計測

彦坂 泰正 富山大学大学院医学薬学研究部 (薬学) 教授

1. はじめに

原子や分子の軟X線領域の光吸収では、内殻電子の励起やイオン化とそれに引き続くオージェ過程によって、複数の電子が放出される。このような多電子放出過程を詳細に理解するためには、放出される全ての電子の運動エネルギーを分析し、それらの間のエネルギー相関を観測することが不可欠である。磁気ボトル型電子エネルギー分析器は、電子捕集効率が極めて高い電子分光手法であり、この利用によって、従来よりも格段に良好な多電子同時計測を行うことが可能となった。これまでに、希ガスや簡単な分子の多電子放出過程への多電子同時計測の適用によって、多電子放出のメカニズムとダイナミクスに関しての多くの進展が得られ

ている^[1]。

2. 磁気ボトル型電子エネルギー分析器

図1に磁気ボトル型電子エネルギー分析器の概念図を示す。光イオン化で放出された電子は、永久磁石とソレノイドコイルによりイオン化領域周辺に形成された不均一磁場によって全立体角にわたって捕集される。実際、500eV以下の電子に対する検出効率は、MCP検出器の検出感度(60%程度)によってほぼ決定されており、磁場による捕集の取りこぼしは見られない。ただし、電子の運動エネルギーは飛行時間分析により決定するため、一般的な静電型電子エネルギー分析器に比べてエネルギー分解能は見劣りする。この装置では1.5mもの長い飛行区間を設けてい

るものの、それでも単純に飛行させることにより得られる $E/\Delta E=35$ の分解能は軽元素からのオージェ電子のスペクトル構造を観測するには物足りない。そのため、エネルギー分解能の向上を得るため、飛行管内に阻止電場機構を導入している^[2]。阻止電場の印加により飛行管の入口付近で電子を減速して飛行時間を伸長し、高速電子に対する分解能の大幅な向上を得ることが可能となった。

図2は、Arの2p内殻イオン化による同時計測収量を光電子エネルギー(縦

軸)とオージェ電子エネルギー(横軸)に対して2次元プロットしたものである。阻止電場無し(図2a)では幅広いピークとして見られている $2p^{-2}$ と $2s^{-2}$ のオージェ終状態は、180Vの阻止電場の印加(図2b)によりそれらの異なる電子状態を明確に分離できている。この阻止電場による電子捕集効率の減少は観測されず、良好なエネルギー分解能での高効率の多電子同時計測が実現できている。

3. 凝集系水分子に対する同時計測

最近、私たちは、気相原子・分子だけでなく、固体試料への多電子同時計測の適用を開始した。固体試料に対する多電子同時計測は、表面吸着分子の化学状態分析手法のひとつになると期待している。つまり、固体表面に吸着した分子の内殻電子の結合エネルギーは化学的環境に応じたシフトを示すため、内殻光電子の識別により内殻空孔を生じた原子の置かれているサイトを決定することができる。内殻光電子との同時計測でフィルターを掛けると、その特定の原子サイト近傍の価電子構造を反映したオージェ電子スペクトルを抽出できるはずである。

固体試料に対する磁気ボトル型電子エネルギー分析器の適用可能性を探る目的で、銅表面に凝集させた水分子に対する多電子同時計測を行った。図1のイオン化領域に銅ワイヤー(直径0.3 mm)を配置し、それを液体窒素温度に冷却することによりワイヤーの表面に水分子を吸着させた。図2は $h\nu=900.1$ eVにおいて得られた同時計測

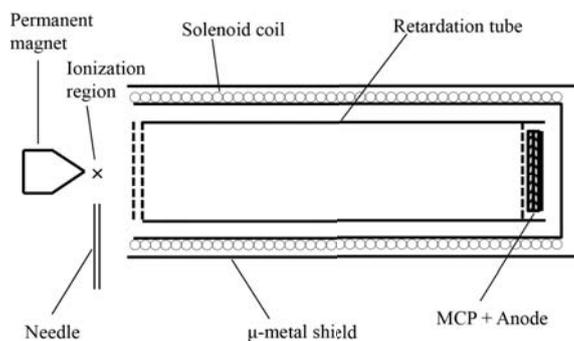


図1 磁気ボトル型電子エネルギー分析器の写真と概念図。

信号の2次元プロットであり、この測定では400Vの阻止電場を印加している。観測された構造は酸素1s光電子とオージェ電子の運動エネルギー相関として妥当であり、観測された構造の横方向の断面は通常のオージェ電子分光による報告と一致する。この固体試料に対する同時計測の検出効率と分解能は、ともに気相分子に対する測定と遜色ない。阻止電場無しの測定では、エネルギー分解能は落ちるが、これら2つの電子に加えて低速の電子を含んだ3重同時計測も観測できている。この低速電子は、なだらかなエネルギー分布

を示しており、光電子とオージェ電子放出の際の2次電子が殆どであると考えられる。気相水分子についての多電子同時計測^[3]では3重同時計測される低速電子の分布に解離フラグメントの自動イオン化構造が観測されたが、同様なピーク構造は凝集系では観測できなかった。当然ながら凝集系では分子解離は抑制されるので、このことは妥当な結果であろう。

4. おわりに

この研究はUVSORの単バンチ運転を利用して行っている。光フラックス

が重要な多くのユーザーにとって、単バンチ運転は歓迎されるものではなく、高エネ研のフロンファクトリーでは単バンチ運転は数年前より無くなった。そのため、私たちのように放射光のバルス性を利用したいユーザーにとっては、UVSORの単バンチによるトップアップ運転の重要性は以前よりも増している。是非とも年2週間程度の良質の単バンチ運転を今後も維持して頂きたい。

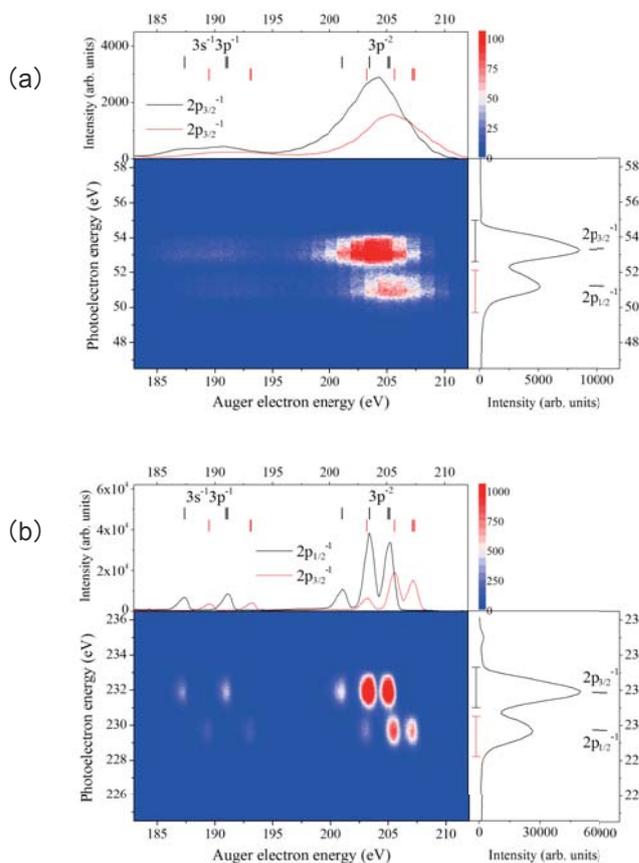


図2 Arの2p内殻イオン化による光電子とオージェ電子の運動エネルギー相関：
(a) 阻止電場なし、(b) 阻止電場180V。

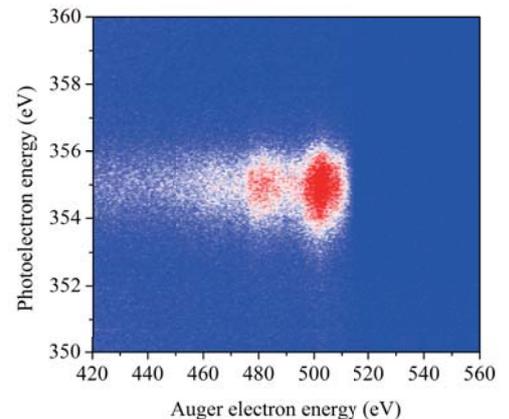


図3 銅表面に凝集させた水分子の酸素1s内殻イオン化による光電子とオージェ電子の運動エネルギー相関。



ひこさか・やすまさ
1997年東京工業大学理工学研究科博士課程修了、博士(理学)。分子科学研究所、日本学術振興会、オックスフォード大学、物質構造科学研究所での博士研究員、分子科学研究所・助手/助教、新潟大学・准教授を経て、2015年4月より現職。

参考文献

- [1] Y. Hikosaka et al., Phys. Rev. A **92**, 033413 (2015); Phys. Rev. A **89**, 023410 (2014); Phys. Rev. Lett. **107**, 1130052 (2011) など。
- [2] Y. Hikosaka et al., J. El. Spectrosc. Rel. Phenom. **192**, 69 (2014).
- [3] Y. Hikosaka et al., J. Chem. Phys. **138**, 214308 (2013).

共同利用研究ハイライト

二量体形成新規人工タンパク質を用いた タンパク質ナノブロック開発による自己組織化 ナノ構造複合体の創製

小林 直也 信州大学大学院総合工学系研究科 博士課程 新井 亮一 信州大学繊維学部 助教

1. はじめに

生命活動は、タンパク質や核酸、糖、脂質といった様々な自己組織化能力をもつ生体分子の複合体によって営まれている。なかでもタンパク質は、複雑で洗練されたナノスケールの複合体構造を形成することで高度な機能を発揮する最も重要な生体分子である。これらのタンパク質複合体を自在にデザインし、望みの機能を実現することができるになれば、医薬品開発やナノテクノロジー、合成生物学研究分野の発展に大きく貢献できると考えられる。しかしながら、人工タンパク質複合体のデザインは、立体構造形成に多くの相互作用が関係するために非常に複雑で、現在においても大変困難な課題である。近年、我々は、タンパク質構造構築や機能発現の原理的な理解を目指して、新規な人工タンパク質の創製・解析研究に取り組んできた。特に、プリンストン大学のMichael Hecht 教授との共同研究により、バイナリーパターン法^[1]を用いて創製した新規人工タン

パク質 WA20 のX線結晶構造解析に成功した^[2]。WA20は、2本の長い α ヘリックス構造が2分子それぞれお互いに挟みこむようにして組み合わせることで、非常に特徴的な分子間フォールディング（ドメインスワップ）型4本ヘリックスバンドル2量体構造を形成することを解明した。

そこで、本研究では、このWA20の特徴的な構造とタンパク質の自己組織化能力を活かして、人工タンパク質を骨格構造としたナノ構造複合体構築に応用することを着想し、「タンパク質ナノブロック (Protein Nano-building Block: PN-Block)」を開発した^[3]。その基本戦略は、少数のシンプルな基本ブロックを開発し、おもちゃのブロック遊びのように組み合わせることで、多様なナノ構造複合体を創出するところにある。

2. 人工タンパク質ナノブロック(PN-Block)のデザイン

PN-Blockとして、WA20とT4ファア

ジ由来fibrin タンパク質ドメインのfoldonを遺伝子工学的に融合したWA20-foldonを設計・構築した(図1)。WA20-foldon タンパク質の構造構成要素であるWA20とfoldonは、それぞれ2量体と3量体を形成するタンパク質ドメインであり、結合する相手同士が過不足なく組み合わせるためには、幾何学的対称性の制約により、2と3の公倍数である6の倍数量体(6量体, 12量体, 18量体, 24量体, …)の形成が予測される。

3. WA20-foldonタンパク質の自己組織化ナノ構造複合体の創製及び会合数と形状解析

大腸菌によりWA20-foldon タンパク質を発現させたところ可溶性に発現し、His₆-tag精製後にSDS-PAGEとNative PAGEを行った結果、自己組織的に複数の複合体(多量体)を形成することが示唆された(図2)。さらにそれぞれ精製分画し、サイズ排除クロマトグラフィーや多角度光散乱(size exclusion chromatography-multi angle

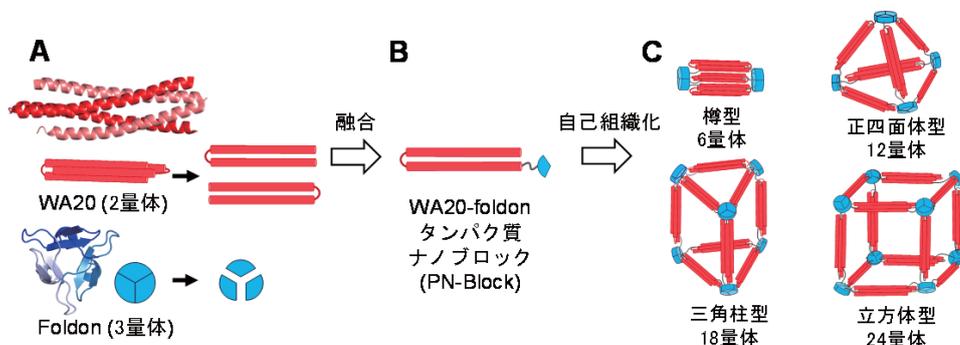


図1 タンパク質ナノブロック(PN-Block)の設計開発戦略と自己組織化ナノ構造モデル。(A)WA20の結晶構造(PDB: 3VJF)とfoldonドメインNMR構造(PDB: 1RFO)及びそれらの模式図。(B)タンパク質ナノブロックWA20-foldon融合タンパク質の構築。(C)幾何学的に予想されるPN-Block(WA20-foldon)自己組織化ナノ構造モデル。

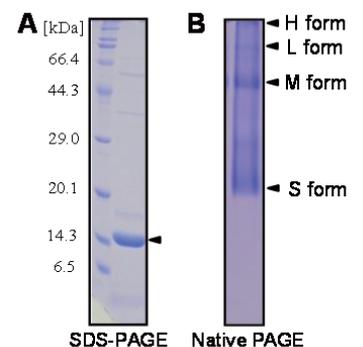


図2 WA20-foldonタンパク質の発現・精製。(A) SDS-PAGE、(B) Native PAGE。(WA20-foldonタンパク質単量体の分子量17 kDa)

light scattering, SEC-MALS)、超遠心分析 (AUC)、小角X線散乱 (SAXS) 等により分子量を測定することで会合数を求めたところ、S form、M form、L formの各複合体は、それぞれ6量体、12量体、18量体であった (表1)。このことは、WA20-foldonがデザインした通りに、過不足なくお互いに組み合わせることで、6の倍数量体の複合体を安定的に形成することを示している。

さらに、複合体の溶液中での形状を評価するために、WA20及びfoldonの各立体構造とSAXS実験データに基づいて剛体モデリング解析を行ったところ、S form (6量体) とM form (12量体) は、幾何学的対称性により予測されたナノ構造複合体である樽型 (ラグビー

ボール型) 構造と正四面体型 (テトラポッド型) 構造をそれぞれ形成していることが強く示唆された (図3)。

本研究で開発した「タンパク質ナノブロック (PN-Block)」の戦略は、さらに新たなPN-Blockを開発して自在に組み合わせていくことで、天然タンパク質では実現できないような多様な構造や機能を持つ人工タンパク質ナノ構造複合体の創出につながると考えられる。今後、タンパク質工学分野をはじめ、超分子化学やナノテクノロジー、合成生物学分野の発展にPN-Block戦略を活かしていきたい。

4. おわりに

本研究において、SEC-MALSを用い

た実験は、分子科学研究所・協力研究として、古賀信康准教授、古賀理恵博士の御協力のもとに行われました。また、SAXSを用いた実験は信州大学の佐藤高彰准教授及び柳瀬慶一氏、AUCの実験は横浜市立大学の雲財悟助教の御協力のもとに行われました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。なお、本研究成果^[3]は、特に注目の論文としてJACS Spotlightsに選出されるとともに、表紙を飾りました。このような成果を得ることができたのも、分子研で先端測定機器を共同利用することができたおかげであり、今後も大学共同利用機関としての継続的発展を期待致します。

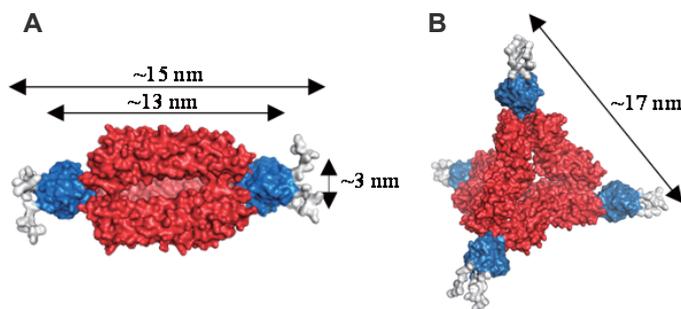


図3 (A) S form 剛体モデリング構造、(B) M form 剛体モデリング構造。

form	SEC [kDa]	MALS [kDa]	AUC [kDa]	MS [kDa]	SAXS [kDa]	会合数 [mer]
S form	84	101	96	111	97	6
M form	195	199	180	—	224	12
L form	284	299	—	—	331	18
H form	415	392, 543	—	—	641	24, 30, 36?

表1 WA20-foldon複合体の分子量と会合数のまとめ。

参考文献

- [1] Hecht, M. H. *et al.*, *Protein Sci.* **13**, 1711-1723 (2004)
 [2] Arai, R. *et al.*, *J. Phys. Chem. B.* **116**, 6789-6797 (2012)
 [3] Kobayashi, N. *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* **137**, 11285-11293 (2015)



こばやし・なおや

2011年信州大学繊維学部応用生物科学科卒業。信州大学大学院総合工学系研究科博士課程在学中。専門はタンパク質工学及び合成生物学、特にタンパク質ナノブロック開発による自己組織化ナノ構造複合体の創製を研究。



あらい・りょういち

2001年東京大学大学院工学系研究科化学生命工学専攻博士課程修了、博士 (工学) 取得。理化学研究所ゲノム科学総合研究センター研究員、学振海外特別研究員 (Princeton Univ.) 等を経て、2007年信州大学ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点助教、2012年より現職。専門はタンパク質工学及び構造生物学、特に人工タンパク質の創製や立体構造解析等を研究。

共同利用研究ハイライト

サイボーグ超分子により解き明かされる生命現象
～生体分子クラスターを人工巨大分子に移植した
一義構造の巨大分子佐藤 宗太 東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 (AIMR)・准教授
JST, ERATO 磯部縮退π集積プロジェクト・グループリーダー

1. はじめに

生命現象では、分子と分子が相互作用して認識され、一連の分子認識が時間的・空間的に展開されることで、生命活動に重要な機能が実現される。この自然のしくみを人工系で模倣しようと、多くの合成化学研究が展開されている。酵素のポケットが基質分子を認識して取り込み、特異な酵素反応が進行するしくみをまねて、人工系においては、金属イオンを包み込むように認識するクラウンエーテルに代表される環状分子や、より大きな標的（ゲスト分子）として有機小分子を選択的に認識する、シクロデキストリンに代表される中空構造をもつ分子（ホスト分子）が開発され、ホスト-ゲスト化学という新分野が拓かれた。

一方で、自然には上述のような特定構造のポケットが分子認識するのではなく、きわめて弱い認識能をもつ分子がより集まったクラスター表面が、相乗効果により強い認識能を示すタイプも見受けられる。例えば、糖鎖が細胞膜上で高密度集積したクラスターは、タンパク質や他の細胞を認識するなど、欠かすことができ

ない生体機能を担っている^[1]。このような表面認識を人工的に実現しようとすると、多数の認識分子を集積することで構造が巨大で複雑になるために合成が難しくなる。さらに、機能と構造との相関を得るためには、ただ認識分子を集めるだけではなく、三次元構造をきちんと制御する必要がある。このような問題から、精密な立体構造を有する分子を自在に設計し、生体機能を人工系で実現する認識表面をつくりだしたといえる例はない。

2. サイボーグ超分子の構築

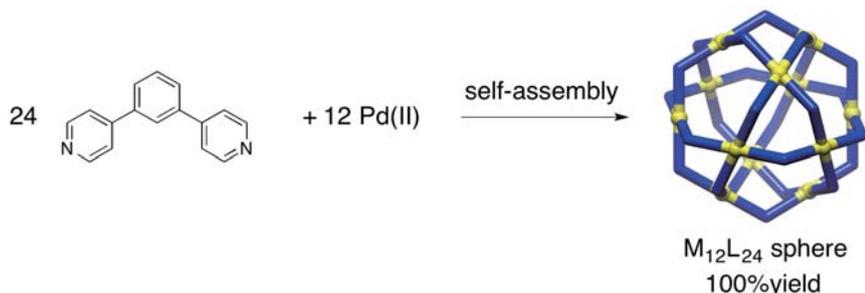
本共同研究では、高効率に合成できる巨大超分子を母核に用い、その表面に生理活性な糖鎖分子をハイブリッド化することで「サイボーグ超分子」の精密合成に挑んだ。12個の遷移金属イオン(M)と24個の有機配位子(L)とからなる球状超分子 $M_{12}L_{24}$ 錯体(図1a)は^[2]、直径数nmにも達する巨大分子であるが、高い対称性の精密構造が定量的に得られ、さらに、配位子にあらかじめ糖鎖を連結することで、24個だけの糖鎖を100%の導入効率で均一に配

置できる。

着目した生命現象は、神経細胞膜上にクラスター化した糖脂質GM1ガングリオシドによる、凝集性タンパク質であるアミロイドβの認識である^[3]。この分子認識が引き金となって、多段階を経てアミロイド線維が成長し、アルツハイマー病などの神経変成疾患が発症することが知られており、近年、生命科学から医療にわたる広い分野で精力的に研究が展開されている。人工的な細胞膜モデルであるミセルやバイセルの上に、GM1ガングリオシドのクラスターを構築したモデルでは、脂溶性の細胞膜中にアミロイドβがαヘリクスを形成して埋め込まれ、この構造を核として線維成長することがわかっている。しかし、GM1の糖鎖クラスターがアミロイドβを選択認識する、最初の機構は観測されていない。

この未解明の認識機構を明らかにするために、脂溶性部位がない糖鎖クラスターの合成に挑んだ。図2に示すように、穏やかな反応条件のもと、比較的反応性が高いシアル酸をもつGM1糖鎖の構造を損なうことなく、脂溶性脂肪鎖部位を除去し、糖鎖連結配位子を得た。

得られたGM1糖鎖を連結した配位子とPd(II)イオンとを溶媒中で混合して $M_{12}L_{24}$ 錯体の合成を検討した。糖鎖と相互作用するカルシウム(II)イオンが過剰に含まれる反応条件で球状超分子を構築し、次に、過剰のカルシウム(II)イオンを透析によって除去する二段階の調製経路を経る、動的秩序化によって

図1 $M_{12}L_{24}$ 組成の球状超分子の構築。

直径6 nmにも及ぶ巨大な標的化合物を得た(図3)。

3. サイボーグ超分子が示す分子認識

サイボーグ超分子とアミロイドβとを混合し、その相互作用を¹H-¹⁵N HSQC NMR分光法によって解析した。超分子1分子に対し、0.10当量のアミロイドβを加えると、同条件でアミロイドβを測定した場合の信号強度と比較して、N末端側の残基に由来する信号強度が弱く観測された。アミロイドβの当量を増やして1.0当量を作用させた場合には、さらなる強度低下が観測された(図4)。これらの結果から、アミロイドβのN末端側が選択的にGM1糖鎖クラスターに認識されたことがわかり、調製したサイボーグ超分子は本来の生体機能を人工系でも示すことがわかった。本手法は他の凝集性タンパ

ク質に対しても有用であった。すみずみまで構造を考慮して設計したサイボーグ超分子を用いることで、はじめて、病気の引き金となる生命現象の発端を、分子レベルの精密さで捕らえることが可能になった^[4]。

なお、本研究においては、超高磁場920 MHz NMRがもたらす高分解能なスペクトルが研究成果に大きく貢献し、ラボ設置装置ではアクセスできない貴重な実験データの恩恵を享受した。

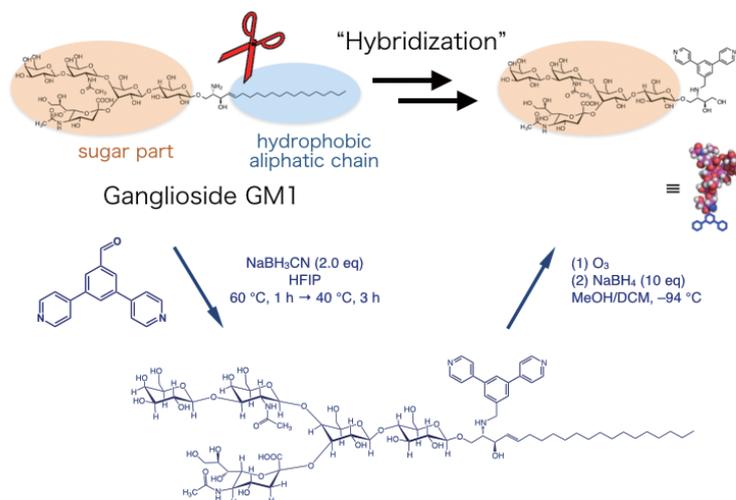


図2 GM1糖鎖を切り出し、有機配位子に連結。

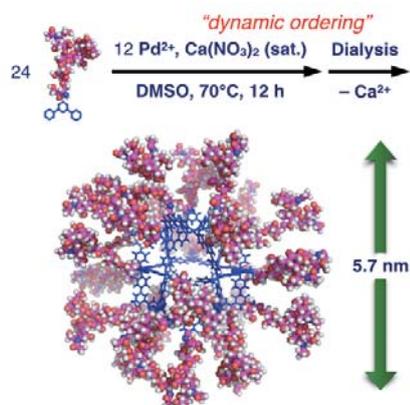


図3 動的秩序化を利用したサイボーグ超分子の構築。

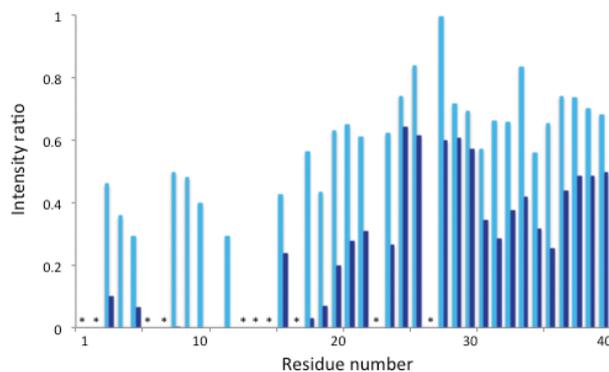
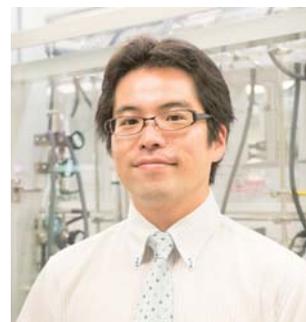


図4 アミロイドβのアミド基の¹H NMR信号の相対強度。* マークは、信号の広幅化により観測されなかったことを示す。

参考文献

- [1] M. E. Taylor, K. Drickamer, *Introduction to Glycobiology*; Oxford University Press: New York, 2003; b) R. A. Dwek, *Chem. Rev.* **1996**, *96*, 683–720.
- [2] 東大のプレスリリース <http://www.u-tokyo.ac.jp/content/400008759.pdf>; b) Q.-F. Sun, J. Iwasa, D. Ogawa, Y. Ishido, S. Sato, T. Ozeki, Y. Sei, K. Yamaguchi, and M. Fujita *Science* **2010**, *328*, 1144–1147.
- [3] Y. Kamiya, M. Yagi-Utsumi, H. Yagi, K. Kato, *Vurr. Pharm. Des.* **2011**, *17*, 1672–1684; b) M. Utsumi, Y. Yamaguchi, H. Sasakawa, N. Yamamoto, K. Yanagisawa, K. Kato, *Glycoconjugate J.* **2009**, *26*, 999–1006; c) M. Yagi-Utsumi, T. Kameda, Y. Yamaguchi, K. Kato, *FEBS Lett.* **2010**, *584*, 831–836; d) M. Yagi-Utsumi, K. Matsuo, K. Yanagisawa, K. Gekko, K. Kato, *Int. J. Alzheimers. Dis.* **2010**, *2011*, 925073.
- [4] S. Sato, Y. Yoshimasa, D. Fujita, M. Yagi-Utsumi, T. Yamaguchi, K. Kato, and M. Fujita *Angew. Chem. Int. Ed.* **2015**, *54*, 8435–8439; b) 東北大学のプレスリリース <http://www.tohoku.ac.jp/japanese/2015/05/press-20150528-03.html>.



さとう・そうた

2000年東京大学理学部卒業。2005年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。2005年東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻・助手、2007年同・助教、2010年同・講師、2013年東北大学AIMR・准教授、JST, ERATO磯部縮退π集積プロジェクト・グループリーダー、現職。有機合成化学を基盤に巨大分子の精密合成・構造決定を通じて、構造化学・無機化学・生命分子科学への応用へと幅広く展開。

共同利用研究ハイライト

「第55回分子科学若手の会夏の学校
講義内容検討会」の開催報告

田中 駿介 京都大学大学院 理学研究科化学専攻 博士後期課程2年

1. はじめに

「分子科学若手の会」は、実験・理論を問わず分子科学に関心を持つ若手研究者の交流の機会を設け、分子科学全体の研究活動の推進と発展に寄与することを目的として、毎年メンバーを募って活動する団体であり、分子科学若手の会夏の学校（以下、夏の学校）の運営も行っている。1961年から続き、今年で55回目を迎える夏の学校は、先駆的な研究を推進されている研究者を講師として招き、全国から分子科学に関心を持つ学生が集まり、最先端の研究課題について基礎から応用までの幅広い知識を体系的に学び、互いの研究分野について議論・意見交換を行い、理解を深めることを目的とする場である。

2015年度も、分子科学研究所（分子研）の平成27年度共同利用研究（前期）「若手研究会等」の支援のもと、「第55回分子科学若手の会夏の学校 講義内容検討会」を行い、そこでの議論・意見交換の成果を反映して「第55回分子科学若手の会夏の学校」を開催した。

本稿では、「第55回分子科学若手の会夏の学校 講義内容検討会」と「第55回分子科学若手の会夏の学校」についての活動を報告する。

2. 第55回分子科学若手の会夏の学校
講義内容検討会

夏の学校の開催準備のために「第55回分子科学若手の会夏の学校 講義内容検討会」を分子研で開催し、設定した5つのテーマに関して先鋭的な研究を行っている講師の方々と学生により、

夏の学校で行われる講義内容を検討し、夏の学校で使用するテキスト作成について詳細を議論し、意見交換を行った。また、分子科学若手の会の役員会を同時に開催し、夏の学校当日の予定の打ち合わせ、若手の会の現在の運営状況や今後の方針についての議論を行った。

3. 第55回分子科学若手の会夏の学校

今年度は、2015年8月17日～21日に東京大学化学教室（本郷）及び宿泊場所の朝陽館本家において開催した。計67名の参加を得た。

【分科会・全体講演】

以下に示す5分科会に分かれて、それぞれの講師の先生方による講義が行われた。また、講師の先生方が取り組まれている先端研究について、全体講演をしていただいた。

1. 前田 理 准教授

（北海道大学 理学研究科 化学部門）

「反応経路とその自動探索」

2. 館山 佳尚 グループリーダー

（物質・材料研究機構 ナノシステム計算科学グループ）

「固液界面・酸化還元・電気化学反応の第一原理計算」

3. 伏谷 瑞穂 助教

（名古屋大学 大学院理学研究院 物質理学専攻）

「高強度・短波長レーザー場における超高速原子分子過程」

4. 廣理 英基 助教

（京都大学 物質・細胞統合システム拠点）

「超高速・高強度テラヘルツパルス分光技術の最前線」

5. 古川 亜矢子 嘱託研究員

（サントリー生命科学財団・生物有機科学研究所）

「溶液NMRからわかる酵素の動的な構造情報」

【質問コーナー】

今回は、事前に参加者から先生方に質問したいことを聞いておき、それについて15分間で回答して頂く質問コーナーを新しく設けた。先生方のこれまでのキャリアや海外経験等について聞くことができ、参加者にとって有意義な経験になったことと思う。

【ポスター発表】

参加学生によるポスターセッションでは、4日にわたり47件の発表が行われた。全国から集まったさまざまな分野の学生による活発な議論が行われ、理論・実験の垣根を越えた学術交流の場となった。

4. まとめ

本稿では簡単ではあるが、「第55回分子科学若手の会夏の学校 講義内容検討会」及び「第55回分子科学若手の会夏の学校」の活動報告を行った。来年度の夏の学校については、東京大学大学院総合文化研究科福島研究室の学生（若手の会事務局代表：博士後期課程1年 水野雄太）を中心に新たなメンバーで鋭意準備を進めている。引き続き、分子研及び諸先生方のご支援をよろしくお願いいたします。



分科会の様子 (第1分科会)



分科会の様子 (第5分科会)



質問コーナーの様子
(第4分科会：廣理 英基氏)



ポスターセッションの様子



全体講演の様子
(第3分科会：伏谷 瑞穂氏)



全体集合写真
東京大学化学本館大講堂前にて