

A1-08 水圏で機能するイオン認識材料の開拓

中畑雅樹 (阪大院理)

SDGs 6 番「安全な水とトイレを世界中に」にあるように、清潔な水や公衆衛生は、急速な都市化が進む世界において解決すべき重要な課題である。水汚染物質の中でも、有害な重金属イオンは低濃度でも甚大な影響を及ぼすため、これを取り除くことは「安全な水」のために真っ先に解決すべき問題である。樹木を植えて水圏の有害物質を除去する「ファイトレメディエーション」は、植物のファイトケラチンというタンパク質がカドミウムなどのイオンを高感度・高選択的に捕捉し無害化するという仕組みを活用したものである。本研究では、ファイトケラチンの分子構造に着想を得た合成高分子材料を新しく設計することからスタートし、精密計測^{1,2}・シミュレーション³との連携を通じて、高分子と水分子の協奏による金属イオン認識機能の学理を構築してきた。さらに、開発した材料を水圏/非水圏界面に超高集積化することでそのポテンシャルを最大限に引き出せることが鍵となり、「生物にならい、生物を超える」水圏環境浄化材料という新たなステージに到達した (図1)。⁴

ファイトケラチンの分子構造($(\gamma\text{-Glu-Cys})_n\text{-Gly}$)に着想を得て、ポリアクリル酸(pAA)ベースの共重合体 pAA-Cys x (x は Cys ユニットのモル%) を合成した。最も高い重金属イオン捕捉能を持つ pAA-Cys5 は、Cd²⁺ イオンに対してファイトケラチンより 10³ 倍高い結合能と、Ca²⁺や Mg²⁺などと比較して 10⁴ 倍以上の選択性を有することが等温滴定カロリメトリー (中畑) により明らかになった。赤外 (A02 池本)・NMR (A01 中村) スペクトルや、水圏/非水圏界面での精密計測 (QCM-D・反射干渉顕微鏡 (田中求、山本)・AFM (A02 宮田))、シミュレーションとの国際連携により、高分子のイオン捕捉が脱水を伴う高分子鎖の Compaction をもたらし、それが界面の粘弾性を顕著に変調するという描像が定量的に解明された。さらに、人工細胞膜モデル上での自己組織化を制御してこの高分子を超高集積化することにより、イオン認識機能が飛躍的に向上することを明らかにした (田中求)。表面に pAA-Cys5 を超高集積化させたシリカ微粒子を組み込んだフロースルー型のリアクターは、産業廃水レベルの濃度の Cd²⁺ イオンと大過剰の競合イオン (Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺) を含む汚染河川水モデルから、WHO が推奨する飲料水レベル (< 0.03 μM) まで Cd²⁺ を除去できることが示され、植物に着想を得た選択的イオン捕捉高分子を、水圏環境浄化材料というアウトプットへ繋げることができた⁴。

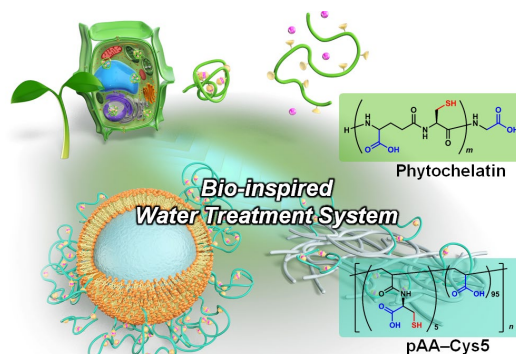


図1 生物着想型水圏イオン認識高分子を用いた水圏環境浄化材料

1) A. Yamamoto, K. Hayashi, A. Sumiya, F. Weissenfeld, S. Hinatsu, W. Abuillan, M. Nakahata, M. Tanaka, *Front. Soft Matter* **2022**, 2, 959542.

2) A. Yamamoto, T. Ikarashi, T. Fukuma, R. Suzuki, M. Nakahata, K. Miyata, M. Tanaka, *Nanoscale Adv.* **2022**, 4, 5027.

3) F. Weissenfeld, L. Wesenberg, M. Nakahata, M. Müller, M. Tanaka, *Soft Matter* **2023**, 19, 2491.

4) M. Nakahata, A. Sumiya, Y. Ikemoto, T. Nakamura, A. Dudin, J. Schwieger, A. Yamamoto, S. Sakai, S. Kaufmann, M. Tanaka, *Nat. Commun.* **2024**, 15, 5824.

PROFILE

中畑雅樹 (大阪大学大学院理学研究科 助教)

2015年大阪大学大学院理学研究科高分子科学専攻博士後期課程修了(博士(理学))。日本学術振興会特別研究員(PD)、大阪大学大学院基礎工学研究科助教を経て、2021年より大阪大学大学院理学研究科助教、現在に至る。現在の専門：高分子合成・生体高分子。主な受賞：日本学術振興会 育志賞(2015年)、高分子学会 高分子研究奨励賞(2024年)。連絡先：nakahata.masaki.sci@osaka-u.ac.jp