



合成高分子と光反応

九州大学 長尾匡憲

九州大学にて助教を務めている長尾です。私は現在、合成高分子を用いた CO₂ の光還元反応の研究をはじめたところです。私の研究の大きな軸は、『合成高分子の構造を精密に設計することによって、タンパク質のような生体高分子の機能を模倣する』というものです。タンパク質はアミノ酸が連なった高分子であり、その配列に応じて決まった三次元構造を取ります。この構造によって抗体の強い結合や酵素の触媒反応といった高度な機能が発揮されています。一方、合成高分子の構造は不均一であるため、ナノ材料としての機能の精密さには限界がありました。しかし 1999 年代ごろより制御重合法 (特にリビングラジカル重合) の発展が目覚ましく、合成高分子でもその構造 (分子長さや配列) を設計できるようになりました[1]。これまでの自身の研究では生体分子への分子認識を主に扱ってきましたが[2]、助教に着任して 3 年目となり新たに環境系のテーマにも目を向けることとしました。

昨今の SDGs を筆頭に、炭素循環社会の実現は重要な社会課題です。地球温暖化の問題だけでなく、炭素源を石油に頼らない社会構造の構築は国家戦略的にも重要といえます。CO₂ の還元には電気化学的な手法もありますが、やはり植物のように太陽光エネルギーを利用できれば一番と考えます。もともと子どものころから植物の光合成には興味があり、この緑の葉っぱの中で酸素が生まれてみんな生きているんだなあと思鑑を見て感心した覚えがあります。大人になり改めて光合成の化学を勉強すると、複雑に組み込まれた分子システムの妙に再び感動しました。その中で特に注目したのが、光化学系 II です。このタンパク質複合体の中にはクロロフィル分子が存在し、太陽光のエネルギーを効率よく捕集しています (このエネルギーは最終的に水から電子を取

り出す反応に使われます)。合成高分子で酵素の触媒機能を模倣する研究は世界的にも盛んに行われていますが、このように光反応の効率化を実現するタンパク質の模倣はあまり例がありません。

そこで現在、ナノサイズの高分子の構造をうまく設計し、その中で行うことで CO₂ 光還元反応の効率を高める研究を行っています。金属錯体を触媒とする CO₂ 光還元の先駆的な研究を勉強していると、照射光のエネルギーを利用するための光増感剤の使用がほぼ必須であり[3]、増感剤と触媒分子の間の電子移動が還元反応の律速段階になっている場合が多いように見受けられます[4]。そこで私は CO₂ 還元反応の触媒となる金属錯体と、可視光を利用するための光増感剤を同時に高分子に組み込むことでそれらをナノメートルの距離感で近接させ、衝突頻度を上げることで電子移動速度の向上 (= 反応速度の上昇) をねらっています。これは光化学系 II の内部でクロロフィル分子がうまく近接しスムーズなエネルギー移動を達成している機構に着想を得たものです。また人工光合成システムの達成は、光還元の研究領域における最も大きな目標の一つだと思います。高分子の特性のひとつとして多様な官能基を同時に組み込むことが挙げられます。この特性を活かし他の触媒系と併用することで、将来的に増感剤を用いない理想的な人工光合成システムの構築に関わっていければ幸いです。いろいろと書きましたが、現在この研究は始まったばかりでまだまだ発表できる結果はございません。できる限りの力を尽くし、高分子化学的にも触媒化学的にも面白いと思えるような研究を進めたいと思います。

[1] Robert B. Grubbs *et al.* *Macromolecules* **2017**, *50*, 6979–6997.

[2] Masanori Nagao *et al.* *Bioconjugate Chem.* **2019**, *30*, 1192–1198.

[3] Yasuomi Yamazaki *et al.* *J. Photochem. Photobiol., C* **2015**, *25*, 106–137.

[4] Jia-Wei Wang *et al.* *Nat. Commun.* **2021**, *12*, 4276.