

触媒界のニューフェイス「有機触媒」

西山 辰也

触媒とは、「それ自身が変化することなく、化学反応を促進する物質」である。触媒は19世紀にヨーロッパで発見されたとされており、近代工業では窒素と水素からアンモニアを生産するハーバー・ボッシュ法で触媒が使われていることでも知られている。この時使われている触媒は金属触媒と呼ばれ、固体の金属から成る。20世紀は金属触媒の時代と呼ばれ、金属や金属にさまざまな配位子を結合させた触媒が作られた。

触媒はその構成成分に応じていくつかに分類されるが、タイトルにもある有機（分子）触媒とは、触媒活性を有する金属を含まない低分子有機化合物のことで、2000年にMacMillanによって定義された新しい触媒である。実はこの有機触媒は1971年にUlrichらによって発見されており、最初の有機触媒として発見されたのはタンパク質を構成するアミノ酸の一つであるL-プロリンである。この非常に有名な物質であるL-プロリンは不斉合成（立体異性体を作る反応）を触媒する。その後しばらくは有機触媒に関する論文は登場しないが、2000年以降（たった7年で論文年間掲載件数が500報を超えるなど）増加の一途をたどっている。有機触媒がこれほど注目されるのには理由があり、工業に用いられている一般的な金属触媒と比較して以下の点で優れているためである。有機触媒は金属を含まないために反応生成物に金属の混入がなく、廃液の処理などを簡便に低コストでできる。また、反応の条件が温和であり、水溶液中での反応も可能で、常圧～数気圧で進行し、反応温度も常温であることが多い。これらの反応は環境負荷が小さく、グリーンケミストリーが叫ばれている昨今の状況と相まっている。加えて、貴重な金属を使わずに安価に研究・

開発が可能であることから、新興国（特に中国）での研究対象になりやすいことも理由とされている^{1,2)}。

話は少しかわり、生物が持つ触媒は生体触媒と呼ばれ、アミノ酸からなる酵素とRNAからなるリボザイム（RNA酵素）がある。酵素は生体内のさまざまな反応を触媒し、工業的にも金属触媒では難しい反応を触媒するなど役立っている。リボザイムはタンパク質翻訳で機能するリボソームの活性中心として知られ、そこではホスホジエステル結合を形成する反応を触媒する。RNAが触媒活性を持つことが発見されたことで、生命が生まれる以前はRNAによる自己複製系が存在していたのではないかというRNAワールド仮説が生まれるなど、学術的にも非常に興味深い。

有機触媒は生体触媒（酵素）、金属触媒に次ぐ触媒であると言われており、生体触媒とはまったく切り離れた触媒として考えられてきた。ところが、最近になって放線菌という微生物が有機触媒を作るという報告がされた³⁾。この有機触媒はアクチノロージン（ACT）という抗生物質として知られてきた低分子有機化合物で、L-アスコルビン酸（ASC）やL-システイン（Cys）を酸化してL-デヒドロアスコルビン酸（DHA）やL-シスチン（CSSC）と過酸化水素（H₂O₂）を生成する反応を触媒することが発見された（図1）。アクチノロージンは触媒活性を有する低分子有機化合物である一方で、生物が生産する触媒すなわち生体触媒であることから、有機触媒は生体触媒の新たなカテゴリーといえる。

有機触媒は低分子有機化合物からなる触媒であり、構成する元素は、主に炭素、水素、酸素、窒素からなり、生体分子とほぼ同一である一方で、生体触媒としてはまったくかけ離れたものであると考えられ、生物学的にはまったく注目されていなかった。しかし、有機触媒アクチノロージンの発見をきっかけとして、生体内からさまざまな有機触媒が発見されると期待され、その中には工業的に有用な有機触媒があってもおかしくないと考えられる。有機触媒は触媒界のニューフェイスであり、今後の活躍が期待される。

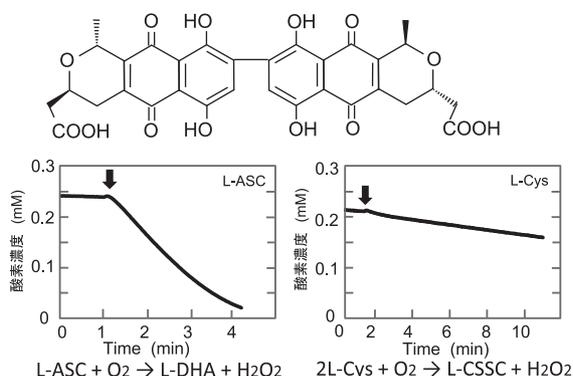


図1. (上) ACTの構造、(下) 各基質溶液にACTを添加（矢印）した後の酸素消費とその反応式。

- 1) 丸岡啓二：進化を続ける有機触媒 有機合成を革新する第三の触媒，化学同人（2009）。
- 2) 柴崎正勝：有機分子触媒の新展開，シーエムシー出版（2006）。
- 3) Nishiyama, T. *et al.*: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **111**, 17152 (2014)。