

# 学術変革領域研究 (A) 「キラル光物質科学」について

岡本 裕巳 分子科学研究所メゾスコピック計測研究センター 教授

自身と鏡写しにしたものが互いに重ならない構造を持つとき、そのものはキラルであると言われます。物質や現象のキラリティは、科学の至る所で顔を出して、それらの性質を特徴づけることは、よくご存知の通りです。また光にも円偏光というキラルな光があり、キラルな物質と相互作用すると、円偏光二色性など、左右円偏光で異なる応答を示します。このことはCottonが150年ほど前に発見し、20世紀半ばからはキラル物質の分析法として広く用いられるようになって、よく知られた現象になっています。左右円偏光に対する物質応答の差による現象を一般にキラル光学効果と呼んでいます（広い意味での光学活性とほぼ同義）。左右の円偏光で物質の応答が異なるのであれば、分子合成や分解の際に円偏光を照射することで、いずれかの掌性のキラル分子が得られる可能性があるのではないかと考えられ、様々な分子系で円偏光によるキラル分子の創出が試みられてきました。これは絶対不斉合成と呼ばれています。また最近では、蛍光などを発する分子において、キラルな構造を設計することで、円偏光の発光を得ようとする取り組みも数多く行われています。しかしこれらの試みでわかってきたのは、円偏光と分子のキラルな相互作用は、多くの場合に非常に小さく、円偏光応答の非対称性(\*)はいくつかの例外を除いて、典型的には $10^{-5} \sim 10^{-3}$ 程度とされています。これは、光のキラリティの空間スケール

(可視光ではサブ $\mu\text{m}$ )と、分子のキラリティのスケール(サブ $\text{nm} \sim \text{nm}$ )が大きく異なることが一つの要因と考えられています。

ところが最近になり、レーザー科学やナノサイエンスの進歩により、その状況に変化が現れ始めました。光の側からは、光の等位相面(波面)がらせん状になる「光渦」や、プラズモン物質などで生じる実効的な波長の短い「スーパーキラル光」などがあります。光渦では、波面が1波長で1サイクルのもの他に、何サイクルも変化する高次の光渦も発生でき、光のキラリティの空間スケールを小さくすることが原理的に可能です(我々の学術変革領域では、光渦やスーパーキラル光などの、通常よりも光のキラリティの空間スケールが小さくなった光を「超螺旋光」と総称して呼んでいます)。物質の側からは、大きな分子系、分子集合体やナノ物質の構造制御が追求されたことや、キラルな光-分子相互作用を設計する手法ができてきたことなどにより、光と物質のキラルな相互作用が増強される可能性が出てきています。キラルな空間スケールが光と物質で接近してきたことで、これまでに知られていない、新たな光と物質のキラル相互作用が開拓される基盤が整ってきたこととなります。またほぼ時期を同じくして、ナノ・マイクロレベルでキラル光学効果に基づく顕微イメージング手法も発展してきて、キラル物質の光学特性の研究手段も拡がりました。

今回の学術変革領域研究は、このような背景を元に、日本で関連する研究をリードする研究者を中心に、千葉大学の尾松孝茂教授を領域代表として、10の計画研究で2022年度~2026年度の予定でスタートしました。2023年度からは、21の公募研究も加わり、本格的に研究活動を進めています。研究内容は大きく分けて(A)光と物質間の角運動量の交換という普遍原理を分子科学・物質科学の立場から「理解」する研究、(B)光と物質との相互作用がマクロに時空間発展する構造・ダイナミクスを先端技術で「計測」する研究、(C)キラル秩序化を支配する法則を多様な空間スケールの物質に展開させて、新たなキラル秩序と機能を「開拓」する研究、というグループで構成しています。

領域発足に前後して、円偏光の掌性によって、ナノ~マイクロレベルのキラル構造物の創出、アキラルな分子からなるキラルな結晶の生成における数十%に達するエナンチオ過剰率の実現などの事例が出始めているほか、光渦により様々ならせん状・渦状構造体の創出にも成功しています。分子集合体やプラズモン物質の設計によって、従来よりも高い非対称性( $10^{-2} \sim 10^0$ レベル)の円偏光発光を示す系も見出しつつあります。計測手法では、キラル光学効果による高精度顕微鏡の開発や、光電子放出顕微鏡の利用、また円偏光や光渦によるキラル物質のマニピュレーションの研究なども進んでいます。領域の活動を通じてこれらを更

に発展させるのに加えて、そこにある物理・化学的な根本原理を解明し、更に分子から生体組織に至る多様な空間スケールの物質において、キラルな構造や励起場を、「超螺旋光」を用いた非接触な操作によって創出することを目指して、活動してまいります。

領域発足時、計画代表の約2/3が45歳以下という若い集団で構成しました。

これには、将来のこの分野を担う研究者を輩出する意図もあります。分子研では江原が(A)のグループ、岡本が(B)のグループで計画代表を務め、また岡本は領域事務局を担当しています。この他にも、計画研究・公募研究のみならず、評価委員やアドバイザー等でも、分子科学コミュニティに縁のある複数の先生方に参画していただいております。分子研関

係者の皆様にもご理解・ご支援をいただければ幸いです。また、本領域の研究内容にご興味があれば、是非領域の仲間に入っていただければと存じます。

(\*) 左右円偏光に対する応答の差を、平均で除した数で定義される。±2の範囲の値をとる。



領域代表の尾松教授が組織し、領域関係者が参加して開催したシンポジウムにて  
(オーストラリア・アデレード、2023年2月22日)