

科学研究費助成事業－科研費－学術変革領域研究 (A) 令和4～9年度

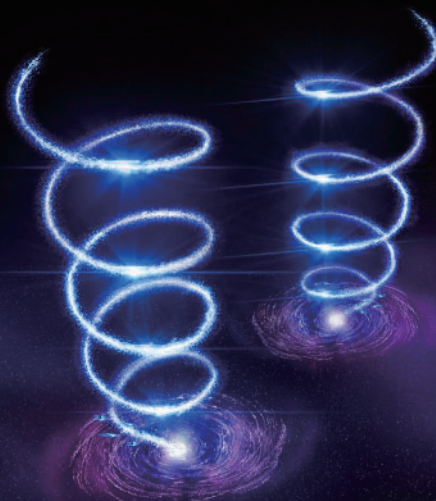
光の螺旋性が拓くキラル物質科学の変革

NEWS LETTER VOL. 1

URL : <https://www.light-chiral-materials-science.jp/>

CONTENTS

領域代表挨拶	1
応用展開研究	3
研究項目A紹介	4
研究項目B紹介.....	5
研究項目C紹介.....	6
班構成・抱負	7
領域評価委員・アドバイザー	10
開催報告	11
プレスリリース、受賞など.....	12



領域代表挨拶

光の螺旋性が拓く キラル物質科学の变革

領域代表 尾松 孝茂 (千葉大学)

物体や現象がその鏡像と重ね合わせることができない性質をキラリティーと言います。光の螺旋性の一つに円偏光の螺旋電場があります。円偏光は、現在に至るまで、物質のキラリティーを検出するために広く用いられていますが、一部の例外を除き、左右円偏光に対する光吸収の差、すなわち、円偏光二色性は分子の全吸収強度のわずか 1/100 以下にすぎません。これは、光の波長で決まる螺旋電場のピッチの空間スケール (サブ μm) に比べて、物質を構成するナノ物質の空間スケール (nm) が 2 桁程度も小さく、円偏光と物質のキラリティーがほとんど相互作用しないからです。したがって、これまでの常識では、光の螺旋性でキラリティーを示す構造に物質を秩序化すること、すなわち、キラル秩序化することは極めて困難であると考えられてきました。

ところが、近年のレーザー技術と微細加工技術の革新的進歩が、今、光の螺旋性の科学を分光学の枠を超えた学問分野へと質的に大きく進化させようとしています。

1992 年に Allen が螺旋波面を持つ光、すなわち、光渦の重要性を示唆しました。その波面の螺旋度 (1 波長当たりの波面のねじれ回数) は次数 l ($\pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$) で定義され、原理的には、次数 l は無限に大きな値にできます。また、近年のナノテクノロジーと微細加工技術の発展により、プラズモニクスをはじめとするナノ光学が発展しました。プラズモン物質である金属ナノ構造に光が入射すると、ナノ構造の表面に局在する近接場光が現れます。その実効的な波長は入射光に比べて極めて小さく、そのため、入射した円偏光や光渦に比べて、その電場や波面の螺旋度 (1 波長当たりの電場や波面の回転数) は極めて大きな値まで増強されます。

レーザー技術と微細加工技術の進化と融合が創出した新しい光、すなわち、光渦・近接場円偏光さらには近接場光渦などを通常の円偏光を超えた螺旋性を持つ「超螺旋光」とわれわれは呼びます。

超螺旋光の強い螺旋性を駆使すれば、分子から生体組織まで、物質を階層的に配列してキラル秩序化できる可能性があります。事実、超螺旋光を照射すると分子・高分子・樹脂などの物質が階層的に配列して極限的に高い鏡像体過剰率でキラル秩序化する現象が近年発見されました。例えば、「キラルでない分子の溶液に近接場円偏光を照射すると、分子がキラル秩序化して右手系あるいは左手系の片方の結晶だけが 50% を超える鏡像過剰率で結晶化すること」「高分子薄膜に光渦を照射すると、高分子がキラル秩序化して薄膜表面に右あるいは左巻きのらせんレリーフだけが選択的にできること」さらには「光硬化樹

領域代表挨拶

脂に光渦を照射すると、樹脂がキラル秩序化して右あるいは左巻きのらせんファイバーだけが選択的にできること」など、数多くの現象が見いだされています。

しかしながら、光照射だけで物質がキラル秩序化するという現象は、従来の物性論や光圧理論だけでは完全には説明できません。超螺旋光が物質をキラル秩序化する事実を完全に説明するための体系的な研究は未だ途上です。これまで報告されている限られた事例を超えてキラル秩序化を学理として理解するためには、《なぜ超螺旋光は物質をキラル秩序化できるのか？》という光の螺旋性と物質の相互作用の科学を深く探究し、物質科学の新たな地平を開拓しなければなりません。

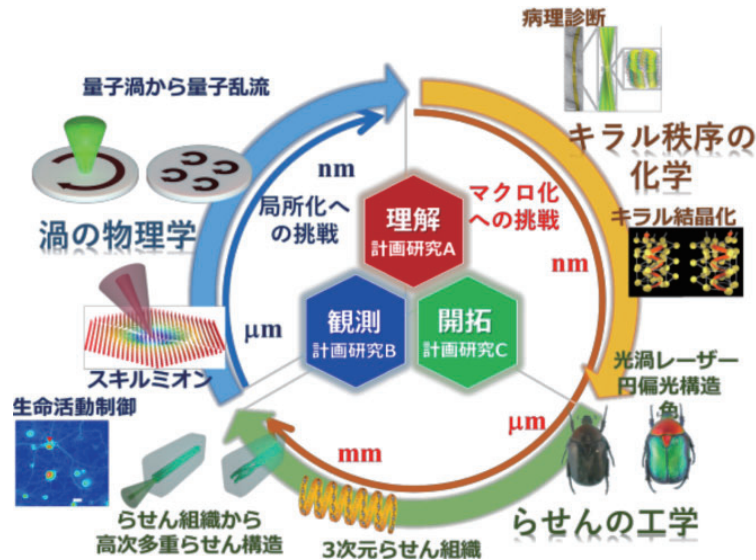
本学術変革領域のゴールは物質科学者の究極の夢である「分子から生体組織まで空間スケールの異なる物質のキラル秩序化」を「光」で具現化し、物質科学に革命をもたらすことです。

そして、物理学・化学・生命科学に跨る広範な学術の立場から超螺旋光の潜在能力を駆使して、新たな学術変革と革新的な技術を創成することです。

数多くの方々がわれわれとともに魅力あふれる光の螺旋性の科学を探究して頂けることを願っています。

応用展開研究

本研究領域は広範な分野に波及効果をもたらしますが、物質の構造を階層的に捉えて〈キラル秩序の化学〉〈らせんの工学〉〈渦の物理学〉を応用展開のゴールと定めています。これらの研究により、超螺旋光によるキラル秩序のマクロ化・局所化に挑戦します。



■キラル秩序の化学

超螺旋光による100%に迫る鏡像過剰率のキラル結晶化が達成することで、自然界のホモキラリティーにおける光の螺旋性の役割を明らかにします。キラル結晶化のメカニズムを解明することで、さらにキラル物質の超微量検出・解析や病理マーカー計測を可能にし、合成化学・創薬・医工学への貢献を目指します。

■らせんの工学

バイオミメティクスの観点から、超螺旋光により分子集合体を精緻にキラル秩序化することで、従来の性能を凌駕する円偏光構造色や円偏光・光渦発振レーザーなどの実現を目指します。一方で、生体組織あるいは生体適合性材料を超螺旋光により制御し、自然界には存在しない高次らせん組織を創成することで、3次元らせん組織の新機能を探索します。

■渦の物理学

超螺旋光の螺旋性を物質に転写し、不揮発性メモリなどの有力候補であるスキルミオンを制御することを目指します。また、超螺旋光により、超流動ヘリウムの中に従来は不安定と考えられている高次量子渦を生成し、その崩壊過程を観測することで、量子渦のもつれの制御を試みます。これにより物理学の未解決問題の一つである乱流の理解へアプローチします。

上記で研究対象となっているキラル結晶・生体を模した3次元らせん組織・乱流は、それぞれキラル秩序・らせん・渦の高次構造に対応します。本研究領域の3つの展開研究は究極の高次構造創成への挑戦であり、10個の計画研究を互いに強くリンクさせることで、その実現を目指します。

研究項目 A 紹介

中嶋 琢也(大阪公立大学大学院理学研究科)

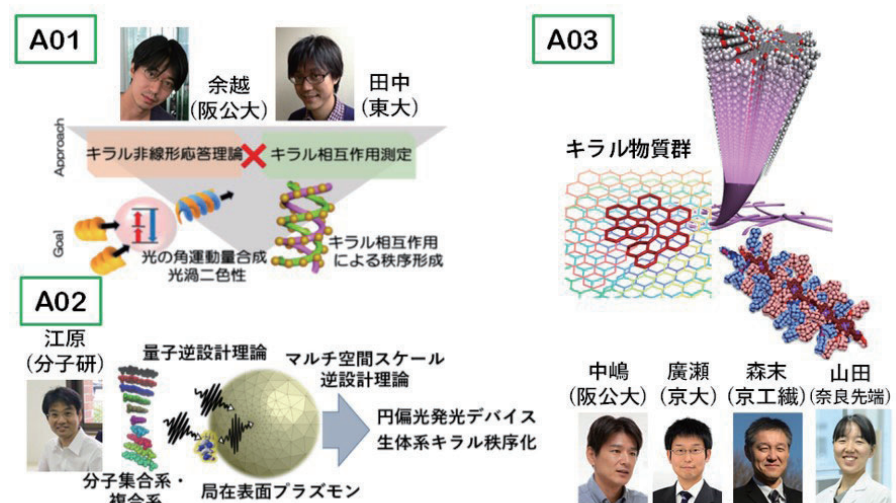
A 班は、超螺旋光による「キラル秩序化」の素過程に注目して学理を究めるとともに、新奇キラル秩序のための未踏物質開拓の指針を示すことを目的として、3つの研究項目から構成されています。それぞれの計画研究は、局在表面プラズモンや光渦などの空間的にデザインされた光場と物質の相互作用の物性理論を研究する余越 (A01)、分子・分子集合体の励起状態の量子状態理論の開発・応用に取り組んできた江原 (A02)、分子や分子集合体のキラル構造制御と円偏光発光などのキラル光学特性創出に実績のある中嶋 (A03) が代表を務めております。

計画研究 A01 は「超螺旋光によるキラル非線形光学応答」に関する理論を構築し、物質内でおこる光の軌道角運動量とキラリティーの変換を光子レベルから理解することで、「キラル秩序化」の新たな開拓に挑戦します。また光の螺旋性とキラル分子の相互作用に関する実験を田中 (分担者) と協力して推進することで、キラル分子の高感度分光の可能性を探究します。

計画研究 A02 は「超螺旋光に基づくキラル光物性の量子逆設計理論」の構築を推進し、極限的なキラル光物性を実現する分子・集合体の理論設計を行います。金属ナノ粒子-分子系に着目して、所望のキラル光物性を実現する分子系・光子場の設計が可能な量子逆設計理論を構築します。

計画研究 A03 は「超螺旋光とキラル秩序の相互作用による励起子コヒーレント制御」を目指し、超螺旋光と励起子挙動を協奏的に制御するキラル秩序を有する分子・集合体を開拓します。さらに、廣瀬・森末・山田 (分担者) らと協力し、光応答性分子、ヘリセン分子、近赤外光活性分子など幅広いキラル分子材料により領域内共同研究を物質面で下支えます。

以上の計画研究を通じて、キラル秩序化の素過程である光と物質間の角運動量の交換・光のスピンの軌道相互作用などの学理の確立を目指しています。



研究項目 B 紹介 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)

B 班は、物質のらせん性、キラル秩序を観測する独自の手法を開拓・展開し、領域内で超螺旋光により生成した様々なキラル秩序の特性評価、生成機構の解析を担当します。超螺旋光を発生する場をナノ加工手法によって創出する研究をも含みます。



計画研究 B01 の岡本は、物理化学の視点から、ナノ光学イメージングの実験手法を用いてナノ物質の特異な光学的性質を解明・制御する研究を推進してきており、最近では特に独自技術による円二色性顕微イメージング装置を開発し、様々なキラル物質のキャラクタリゼーションを共同研究を通じて行っています。本領域ではこの手法を超螺旋光によるキラル秩序創出を評価する基盤として用いるほか、その知見をもとに新たなキラル秩序創出を試み、またその原動力となる光-物質相互作用の基礎を追求します。

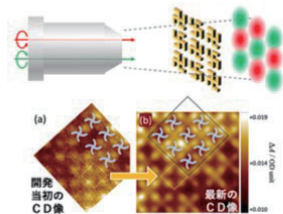


計画研究 B02 の押切は、これまで局在プラズモンによる近接場制御とその化学反応への展開に注力してきました。また多光子光電子顕微鏡を用いた近接場イメージングにより、ナノ空間における局在した光電場を観測する手法の開発も行っています。本領域では、円偏光照射下で近接場計測を行うことで、入射光の螺旋性がナノ構造近傍の近接場光に転写されるのか、転写された光の螺旋性が分子へどのように作用するかを明らかにします。またよりマクロな空間スケールでのキラル秩序化について探究を進めます。

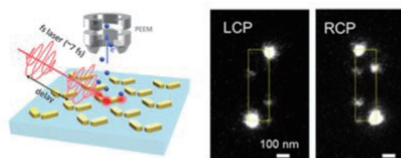


計画研究 B03 の田口は、ナノフォトニクスの研究、特に金属ナノ構造と深紫外域の光の相互作用に関する研究を推進してきています。本領域においては、金属ナノ構造によるスピン・軌道角運動量を含めたナノ光場の生成と応用に関する学理開拓を推進します。紫外から可視光領域において、金属ナノ構造により局在性と増強度を飛躍的に高めたナノ光渦場、高次の光渦を実現する金属ナノ構造を設計・作製し、分子や二次元ナノマテリアルとのキラル相互作用現象を探求します。

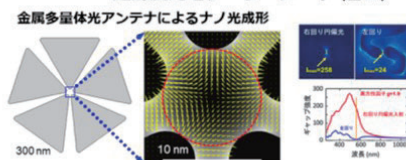
【計画研究B01】超螺旋光とナノレベル物質のキラルな動的相互作用
キラリティー相互作用空間分布計測 (岡本)



【計画研究B02】螺旋性を持つ近接場光と物質の相互作用の観測
光電子顕微鏡による局所的キラリティー相互作用計測 (押切)



【計画研究B03】光の螺旋性を操るプラズモニクスの開拓とナノキラル物質操作
超螺旋光をテーラード (田口)



キラル秩序の時空間発展を高精度観測し超螺旋光を最適設計する

C 班は、超螺旋光による物質のキラル秩序化・超螺旋光の光源開発のパイオニアである尾松、超流動ヘリウム中の量子渦の可視化を推進する蓑輪、光圧による生細胞の動態操作を得意とする細川、細胞機能発現や細胞間接着制御による生体模倣 3 次元組織構築の専門家である松崎が代表を務める 4 計画研究から構成されており、物質（分子から生体組織）が起こす新奇のキラル秩序化を開拓します。



計画研究 C01 は「超螺旋光によるマルチ空間スケール物質のキラル秩序化」を目指します。超螺旋光を駆使して物質のキラル秩序化を行い、バイオミメティクス、キラル結晶化の極限化、さらに、スキルミオンの光制御などに挑戦します。



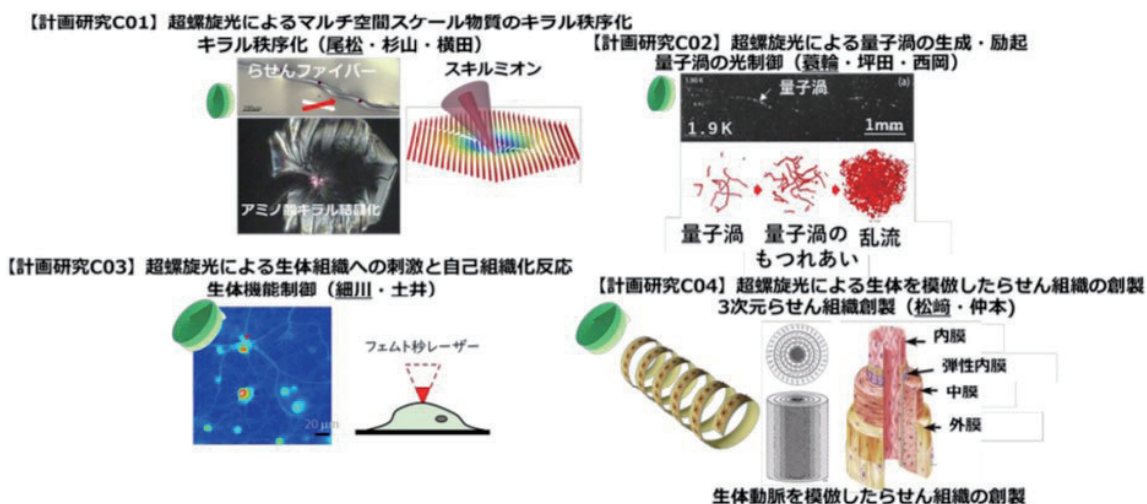
計画研究 C02 は「超螺旋光による量子渦の生成・励起」に取り組めます。超流動ヘリウム中の量子渦は、古典流体も含めた乱流の科学を普遍的に理解するための重要な秩序です。光の螺旋性を量子渦に摂動として与え、超螺旋光による量子渦の生成・制御に挑戦します。



計画研究 C03 では、「超螺旋光による生体組織への刺激と自己組織化反応」を制御します。生体物質を超螺旋光で操作し、新たな細胞機能操作の実現を目指します。神経細胞シナプス部位に局在する受容体分子・細胞接着分子・シナプス小胞群を対象として、超螺旋光をトリガーにして細胞内分子のキラル秩序化に挑戦します。



計画研究 C04 は「超螺旋光による生体を模倣したらせん構造を有する 3 次元組織の創製」に挑戦します。光の螺旋性を駆使して足場材料・細胞・生体組織を操作し、周期構造・細胞配向を制御する技術開拓に挑戦します。そして、再生医療における移植組織や創薬におけるヒト組織モデルへの具体的な応用を目指します。



班構成・抱負

A01 超螺旋光によるキラル非線形光学応答

研究代表者 余越 伸彦：大阪公立大学，大学院工学研究科

研究分担者 田中 嘉人：東京大学，生産技術研究所

物理学の見地から超螺旋光と物質との角運動量交換を精査し、キラルな光と物質による新機能を開拓します。

A02 超螺旋光に基づくキラル光物性の量子逆設計理論

研究代表者 江原 正博：自然科学研究機構，
岡崎共通研究施設計算科学研究センター

超螺旋光と物質の相互作用を理解し、量子逆設計理論を用いてキラル光物性や機能に関する研究を推進します。

A03 超螺旋光とキラル秩序の相互作用による励起子コヒーレント制御

研究代表者 中嶋 琢也：大阪公立大学，大学院理学研究科

研究分担者 廣瀬 崇至：京都大学，化学研究所

森末 光彦：京都工芸繊維大学，分子化学系

山田美穂子：奈良先端科学技術大学院大学，先端科学技術研究科

数少ない物質合成のチームとして、超螺旋光と相互作用し、革新的な特性を発揮する分子群の開発を進めます。



B01 超螺旋光とナノレベル物質のキラルな動的相互作用

研究代表者 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

研究分担者 SADGROVE Mark：東京理科大学，理学部第一部物理学科

成島 哲也：分子科学研究所，メゾスコピック計測研究センター

AHN HyoYong：自然科学研究機構，新分野創成センター

山西 絢介：分子科学研究所，メゾスコピック計測研究センター

独自技術の円二色性顕微イメージング等を駆使して、超螺旋光とそれによるキラル秩序の創出の学理構築に貢献したいと思います。

B02 螺旋性を持つ近接場光と物質の相互作用の観測

研究代表者 押切 友也：東北大学, 多元物質科学研究所

研究分担者 和田 健彦：東北大学, 多元物質科学研究所

広範な分野の皆様と力を合わせ、ナノ構造近傍の超螺旋光と物質との間の相互作用の理解に取り組みます。

B03 光の螺旋性を操るプラズモニクスの開拓とナノキラル物質操作

研究代表者 田口 敦清：北海道大学, 電子科学研究所

光渦場をナノ空間において実現するプラズモニクスの学理を開拓し、キラル光と物質との相互作用現象を探求します。



C01 超螺旋光によるマルチ空間スケール物質のキラル秩序化

研究代表者 尾松 孝茂：千葉大学, 大学院工学研究院

研究分担者 横田 紘子：千葉大学, 大学院理学研究院

杉山 輝樹：奈良先端科学技術大学院大学, 先端科学技術研究科

極限レーザー技術と光の螺旋性を駆使してキラル秩序化を探究し、光物質科学の新たな学理と革新的な光技術を創成します。

C02 超螺旋光による量子渦の生成・励起

研究代表者 蓑輪 陽介：大阪大学, 大学院工学研究科

研究分担者 坪田 誠：大阪公立大学, 大学院理学研究科

西岡 孝：高知大学, 教育研究部自然科学系理工学部門

極低温・超流動・微粒子といった特徴を活かして光によるキラル秩序化に迫りたいと思います。

C03 超螺旋光による生体組織への刺激と自己組織化反応

研究代表者 細川 千絵：大阪公立大学，大学院理学研究科

研究分担者 土井謙太郎：豊橋技術科学大学，大学院工学研究科

超螺旋光が誘起する外力を駆使して、生体分子や細胞の時空間操作を達成するとともに、その学理を探求します。

C04 超螺旋光による生体を模倣したらせん構造を有する 3 次元組織の創製

研究代表者 松崎 典弥：大阪大学，大学院工学研究科

研究分担者 仲本 正彦：大阪大学，大学院工学研究科

本間 健太：大阪大学，大学院工学研究科

本研究では超螺旋光と組織工学を融合することで生体組織のらせん構造の学理を明らかにすると共に、医療分野への応用を目指します。

領域評価委員・アドバイザー

本領域では、高度な専門知識・経験に基づき本学術変革領域へのコメントアドバイスをいただく「アドバイザー」と、アドバイザーのコメントを参考に、大所高所から領域の評価をしていただく「評価委員」に評価を依頼して、本領域研究を推進してまいります。

評価委員	八島 栄次：	名古屋大学
	谷田貝 豊彦：	宇都宮大学
	増原 宏：	国立陽明交通大学
	末元 徹：	電気通信大学
アドバイザー	栗原 和枝：	東北大学未来科学技術共同研究センター
	原田 慶恵：	大阪大学蛋白質研究所
	笹木 敬司：	北海道大学電子科学研究所
	井上 康志：	大阪大学大学院生命機能研究科

開催報告

領域キックオフシンポジウム

2022年9月1日木曜日の午後1時より、領域キックオフシンポジウムが千葉大学コンファレンスルーム（現地）とオンラインのハイブリッド形式にて開催され、現地・オンライン合わせて200名ほどの参加者がありました。多くの方々にご参加いただき、篤く御礼申し上げます。

シンポジウムでは、領域代表の尾松孝茂より領域設立の趣旨とその夢について説明がありました。また国立陽明交通大学（台湾）の増原宏先生より、“Nonlinearly Evolved Dynamics of Optical Trapping and Photoexcitation of Nanoparticles at Interface” という演題で最新の研究成果についてご講演いただき、また領域への期待とエールを賜りました。その後、10名の計画研究代表者による研究計画の背景と狙いと、領域代表による公募研究に対する期待について説明がありました。最後の質疑応答では、会場から本領域の狙いや将来の展望、公募研究について質問が相次ぎました。



プレスリリース、受賞など

- 領域代表・計画班 C01 の尾松孝茂（千葉大学）が、2022 年度泰山賞（レーザー進歩賞）を受賞しました。
- 計画班 B01 の岡本 裕巳（分子科学研究所）らの論文が Science Advances 誌に掲載され、プレスリリースを行いました。<https://www.ims.ac.jp/news/2022/09/0922.html>
- 計画班 A03 の中嶋琢也(大阪公立大学)らの論文が Chemistry of Materials 誌に掲載されました。<https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.2c01994>

Newsletter Vol.1 (2022.11)

科学研究費助成事業－科研費－学術変革領域研究（A）令和4～9年度
光の螺旋性が拓くキラル物質科学の変革
領域代表：尾松 孝茂（千葉大学）