



研究領域名 動的エキシトンの学理構築と機能開拓

京都大学・大学院工学研究科・教授

いまほり ひろし  
今堀 博

領域番号：20A201 研究者番号：90243261

【本研究領域の目的】

光化学は、エレクトロニクス、エネルギー、医薬・医療、機能性材料など現代社会において多様な貢献を期待されている。その根幹を司るドナー・アクセプター(D・A)相互作用では、今まで電荷移動(CT)を、クーロン相互作用による「静的エキシトン(クーロン力によって束縛された電子と正孔の対の状態及びその概念、と定義する)」として捉えてきた(図1左下)。しかし、D・A系ではそれ以外にも、核や格子の運動、スピンと軌道の相互作用などが動的効果として時間発展的に働くために(この状態及びその概念を「動的エキシトン」と定義する)、従来の捉え方では破綻をきたしている(図1右中)。例えば近年、有機太陽電池(OPV)の発展が目覚ましいが、この光起電力、電流発生の仕組みを静的な枠組み(図1左下)で理解するには限界があり、高効率OPV実現の足かせになっている。さらに、光反応初期におけるこの動的効果を正しく理解するための、精密計測や理論体系は未開拓である。従って人類がD・A相互作用を自在に操るにはほど遠い状況にあり、OPV、有機発光素子(OLED)の高性能化のみならず、光を使った医薬・医療、有機材料の新規機能実現の深刻なボトルネックになっている。本研究では、動的エキシトン効果を利用する精緻な分子設計と、計画研究構成員が独自に構築してきた、世界を先導する高分解能計測・理論的精密解析による分野融合により、上記課題を解決する。また光励起CTにおけるスピン状態を含めた、電子状態間の変換による多様な光機能開拓を、動的相互作用の深

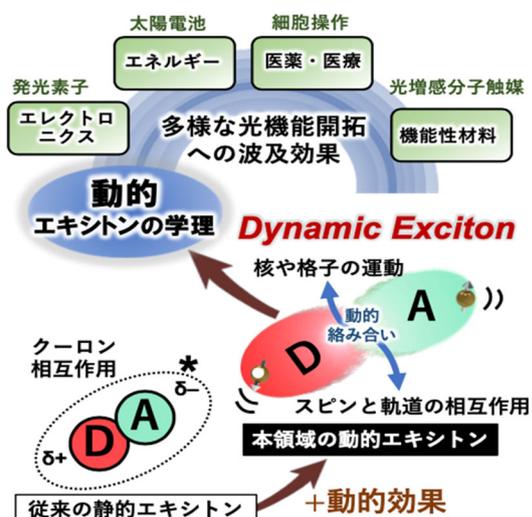


図1.本研究領域の目的

い理解に基づく、分子構造と運動性の巧妙な時空間制御で実現する(図1)。

【本研究領域の内容】

本研究領域では、新規D・A分子の創出とD・Aモデル系の学理構築、OLED、OPVの学理構築と機能向上、合成・生命機能開拓(光細胞操作、光増感分子触媒)の研究課題に着目する。分野融合を基盤とする枠組みにより、非線形な動的エキシトン効果を動的エキシトン創成(A01)、解析(A02)、機能(A03)の3グループで評価・解析する。D・A分子の動的相互作用を有効に引き出すA01グループの精緻設計・合成、A02グループによる先端的磁気共鳴法、時間分解分光計測、計算化学手法を用いた、スピンや分子・格子振動による相互作用機構の解明を経て、A03グループの実在系ではD・A相互作用が階層構造を有する多様な複雑系の光機能開拓に直結させる。動的エキシトンの統一的学理構築と多方面への展開により、既存の光化学の枠から飛躍した新興・融合領域分野としての「動的エキシトン学」を興す。

【期待される成果と意義】

本研究領域では広く光化学を中心とする基礎学理の構築を基盤とした広範な異分野融合を目指すとともに、OPVだけでなく、OLED、光増感分子触媒、光細胞操作など多様な機能開拓を実現するものであり、基礎・応用両局面への格段の発展・飛躍的な展開を図る内容である。

【キーワード】

**エキシトン**：通常は励起状態の電子と正孔の対が静電力によって束縛状態となったものを意味するが、本研究領域では分子D・A系において、励起状態だけでなく、部分的に電荷移動し、かつ励起状態の性質を併せ持つCT状態、及び完全に電子移動した電荷分離状態も含んで包括的に扱う。  
**有機太陽電池**：太陽光・電気エネルギー変換を行うデバイスで、光起電力、電流発生を担う材料が有機系D・A材料から構成される。界面におけるCT状態操作が本研究領域における重要な課題となる。

【領域設定期間と研究経費】

令和2年度～6年度 1,140,800千円

【ホームページ等】

<https://dynamic-exciton.jp>  
[imahori@scl.kyoto-u.ac.jp](mailto:imahori@scl.kyoto-u.ac.jp)



研究領域名 次世代アストロケミストリー：素過程理解に基づく学理の再構築

理化学研究所・開拓研究本部・主任研究員

さかい なみ  
坂井 南美

領域番号： 20A202 研究者番号： 70533553

【本研究領域の目的】

近年、数千を超える系外惑星が発見され、系外惑星系が太陽系とは大きく異なる物理的構造を示すことが分かってきた。一方、ALMA 望遠鏡による観測では、惑星系形成領域で様々な有機分子が捉えられている。天体ごとにその化学組成には大きな違いがあり、原始太陽系の化学環境が必ずしも普遍的なものではなかった可能性が示唆されている。惑星系形成領域における化学的多様性の全貌解明は、生命を育む太陽系環境の起源を辿るためにも重要である。「はやぶさ2」などの始原天体探査によって太陽系物質が詳細に調べられるようになった今、この問題に正面から取り組むことが可能となりつつある。惑星系の多様性や太陽系の物質的起源の統一的描像を得るためには、これまでの、低温低密度な分子雲環境を中心に発展してきた星間化学を刷新し、惑星系形成領域のような、ガスや固体物質の組成が劇的に変化する広範な物理環境に対応できる強固な学術基盤を構築することが求められる。本研究領域は、最先端の分子科学研究との密接な連携の下、この大変革に挑戦し、太陽系の物質的起源の理解を飛躍的に進めるとともに、次世代アストロケミストリーとして新たな学理を創成する。

【本研究領域の内容】

上記目的達成のために下記を行う。

- 1) ALMA 望遠鏡や VLA などの最先端望遠鏡を用いた観測と実験室分光により、惑星系形成領域の化学組成の全貌を明らかにする。また、様々な物理環境にある天体を観測し、その化学組成分布から分子の生成条件等を明らかにする。
- 2) 「はやぶさ2」が持ち帰った始原小天体リュウグウ試料や、隕石などの地球外有機物の組成・構造・同位体などを分析し、再現実験と併せて太陽系形成時の化学環境を解明する。
- 3) 先端の実験手法を用い、分子の内部状態や並進速度を精密に制御し、様々な気相反応の反応速度、反応経路を調べ、温度に敏感な気相反応ダイナミクスの実験的解明に挑む。
- 4) 星間塵表面を模した酸化物表面や氷薄膜表面を製作し、それらの構造・物性を調べるとともに、光走査トンネル顕微鏡により、モデル星間塵表面上での化学反応素過程を単一分子レベルで解明する。
- 5) 実験のみでは推定が困難な反応過程を量子化学計算により明らかにし、計算や実験から得られた素過程パラメータを化学モデルに実装する。星・惑星系形成の物理過程に化学反応ネットワーク計算を組み込

み、天文観測と太陽系の物質的起源をつなぐ基盤を構築する。

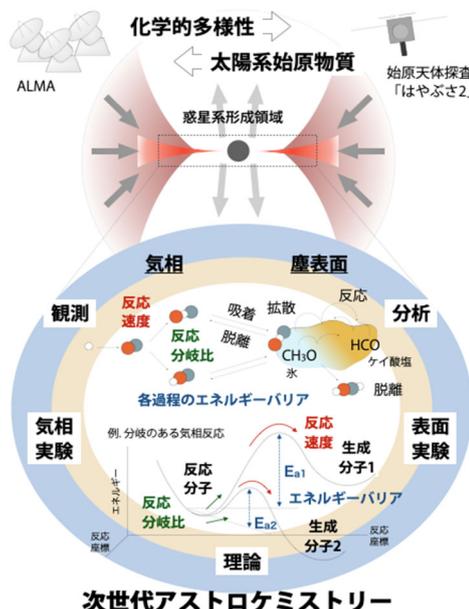


図1. 惑星系形成に伴う物質進化を分子反応素過程に基づいて読み解く。

【期待される成果と意義】

化学反応素過程の理解に基づいて創成される新たな学理は、太陽系の化学的起源解明のみならず、宇宙における様々な物理環境に適応できる。ALMA などで分子輝線観測から天体構造形成を探る化学診断だけでなく、宇宙年齢にわたる物質進化研究へと展開できる。公募研究も広範な分野にわたると期待される。地球惑星科学では、アストロバイオロジーや系外惑星との関係、物質科学では新しい反応場の開発や分子レベルでの光表面化学の開拓などへつながると期待される。

【キーワード】

アストロケミストリー：宇宙における広範な温度・密度環境で起こる化学の総称。星間空間における化学を意味する“星間化学”や、太陽系における地球外物質の化学を意味する“宇宙化学”を包括する。

【領域設定期間と研究経費】

令和2年度－6年度 931,200 千円

【ホームページ等】

<https://next-astrochem.com>  
nextac\_admi@ml.riken.jp



研究領域名 **ダークマターの正体は何か？-広大なディスカバリースペースの網羅的研究**

東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・教授

むらやま ひとし  
村山 斉

領域番号： 20A203 研究者番号：20222341

【本研究領域の目的】

ダークマターはその存在が確実であり、宇宙の星や銀河を作った立役者だが、その正体は不明である。今までは素粒子物理学の要請から、約2桁の質量範囲の WIMP パラダイムに研究が集中していたが、2010年代の実験・観測で制限が厳しくなり、WIMP 以外の候補への関心が高まっている。本研究領域では、ダークマターの質量で90桁にわたる広大なディスカバリースペースを網羅的にカバーするため、今までにない多角的な方法で理論から宇宙観測・地上実験にまたがる研究領域を拓くことを目指す。

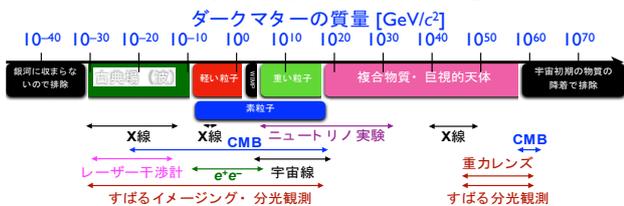
【本研究領域の内容】

本研究領域では、宇宙の物質の大部分を占めるダークマターの正体を徹底的に解明するために、サイエンスの柱として、「軽いダークマター」、「重いダークマター」、「巨視的ダークマター」を立てた。

提案のポイント：ダークマターは**存在**するが、**未知の物質**

今までの探索は**ごくわずかな質量範囲**に限定

ニュートリノ 電子陽子 細菌 蚊 人間 富士山 地球 太陽



今まで理論的な偏見に囚われて見てこなかった

ディスカバリースペースにアタック

日本のダークマター研究を変革

既存分野の壁を破る**横断的研究**

既存施設を本来の目的とは異なる形で**有効活用**

図1:ダークマターの候補質量範囲と本領域の関係

理論研究計画（研究項目 A01-A03）では、初期宇宙におけるダークマターの生成機構、実験・観測の提案、さらに理論から導かれる新しい物理を研究する。実験計画研究（B01-B06）では、世界をリードするアイデアに基づく実験・観測の実現、あるいは世界最高の宇宙観測データでダークマターの正体に迫る。具体的には、レーザー干渉計（B01）、すばる分光観測（B02）、広視野かつ高時間分解能天体イメージング（B03）、X線領域の革新的な観測技術（B04）、電子陽電子加速器（B05）、宇宙マイクロ波背景放射（B06）による観測・実験のダークマター研究を実現、展開する。さらに、量子重力理論などのトップダウン的アプローチでダークマターの存在、物理を自然に説明できる究極理論を探る計画研究（C01）、大規模

数値シミュレーションを用い、異なるダークマター候補が及ぼす宇宙の構造形成への影響を調べる計画研究（C02）を配置し、サイエンス間、計画研究間の協奏を実務的に促す。このような組織で、研究計画をまたがるトップダウン型理論研究（C01、C02）とボトムアップ型理論研究（A01-A03）から指針を得て、世界に先駆けた独自の地上実験・宇宙観測の計画研究（B01-B06）によりダークマターの正体の解明を目指す。

【期待される成果と意義】

本研究領域の設定期間内に、今までない世界初のダークマターの制限が求められる。テーブルトップの実験によるアクシオンと新しいゲージボソンについて、日本初の若手のアイデアによる探索を行う。また、JAXA が打ち上げる新しい X 線衛星である XRISM により、ダークマターの崩壊による単色 X 線を探索する。既にすばる望遠鏡に搭載されている HSC という世界最高性能のカメラを用いて、ダークマターの分布の世界最大の3次元分布地図を作り、また原始ブラックホールなどの天体サイズのダークマターを探索する。一方、2023年から観測を開始する現在建設中のすばる超広視野多天体分光器 PFS を用い、矮小銀河の観測から、ダークマターの自己相互作用やドブロイ波長に制限を加える。この PFS データから、 $\gamma$  線によるダークマター対消滅の探索についても、その解釈を精緻化する。また、公開される宇宙マイクロ波放射のデータを用い、新たな解析を行うことにより、アクシオンや宇宙晴れ上がり時のダークマターの対消滅の効果を探る。そして、既に稼働を開始した Super KEK-B 加速器での実験に新たなトリガーを組み込むことで、ダークフォトン、SIMP などのダークマターを探索する。これらは期間内に新しい結果が発表できるはずである。

【キーワード】

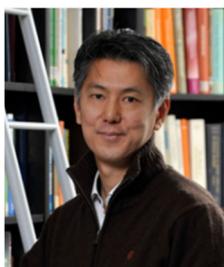
ダークマター：暗黒物質。質量は持つが、光学的に直接観測できない物質で、銀河系内にあまねく存在し、物質とはほとんど相互作用しない。観測事実から間接的にその存在が確実とされるが、いまだ正体不明の物質で、宇宙の星や銀河を作った立役者。

【領域設定期間と研究経費】

令和2年度-6年度 1,130,500千円

【ホームページ等】

<http://member.ipmu.jp/DarkMatter/>



研究領域名 高密度共役の科学：  
電子共役概念の変革と電子物性をつなぐ

京都大学・大学院工学研究科・教授

せき しゅうへい  
関 修平

領域番号： 20A204 研究者番号：30273709

【本研究領域の目的】

本研究領域『高密度共役の科学：電子共役概念の変革と電子物性をつなぐ』は、有機化学に基づく分子性物質の設計・分子間空隙の制御・凝縮相における熱ゆらぎ抑制により、新しい分子間電子共役（＝高密度共役）を達成する。同時に、最先端の機能物性科学的評価手法により、得られた高密度共役物質の優れた電子伝導やスピン輸送、特異な電子相関や局在状態に関わる未踏機能の実現を通じて、美しい式・論理を介した“X”-conjugation の学理の確立と普遍化を目指す。

【本研究領域の内容】

新しい分子間電子共役（＝高密度共役）の示す破格に優れた物性と未踏機能について探求し、既存の枠組みを超越する電子共役概念（＝“X”-conjugation）を、次の三つのアプローチによって確立する。

(I)  $\sigma$ ・ $\pi$  共役を超越する新しい電子共役の達成

p 軌道を対象とした最初の共役の提案に端を発し、長らく共役の概念は  $\pi$  結合を中心に発展してきた。さらに、1950 年代に議論され始めた  $\sigma$  電子の非局在安定化（ $\sigma$  共役）、 $\delta$  結合の存在と非局在安定化の可能性、 $\varphi$  結合の理論予測など、分子軌道論を基にした新たな共役概念の扉が開かれてきた。しかし、これらの電子共役概念の拡張は、いずれも重元素の高次原子軌道による共役を追求するものであった。これに対し、本研究領域では、“共役”の根本である“電子非局在化によるエネルギー利得”に立ち戻り、炭素を中心とする分子性物質における新たな電子共役の拡張をもって共役概念の変革を目指す。具体的には、有機化学を駆使した分子性物質の周期配列構造中で、1) 分子間空隙の可能な限りの縮小による高密度化、2) 熱ゆらぎを超越する相互作用の導入、3) “空間を電子で埋める”という基本戦略に基づく分子間空隙への電子状態の創り込みにより、既存の共役を超越した高密度共役を創出する。

(II) 破格に優れた物性・未踏機能への挑戦

分子性物質の電気伝導度が示すダイナミックレンジは破格に大きい。これは電荷の輸送特性に当たる電子移動度・有効質量がそもそも広域に変調することに加え、電荷担体及び電子状態の密度が物質に応じて大きく変化し、これらの積によって電気伝導度（＝電子物性）が与えられるからである。実際、幾つかの有機伝導体中において電子・分子の空間充填を制御することで、超伝導体から絶縁体までを同じ物質だけで具現化できることは、他の多くの共役分子性物質の可能性を如実に代弁している。超伝導体から絶縁体まで、あるいは質量ゼロの状態から強い局在を示す巨大有効質量までに至る“破格”のダイナミック

レンジを包括して制御できる可能性を持つことこそが、分子性物質による電子共役構造の本質である。本研究領域では、電子共役構造の本質的な制御と、最先端の機能物性科学的評価手法による各種物性の解明により、未踏機能である軽い電子の極限及び重い電子の極限に挑戦する。

(III) 高密度共役から“X”-conjugation へ  
高密度共役が実現された状態において、空隙の中の電子の共役を表す波動関数は、それを取り巻く空間の対称性を反映した“シンプルで美しい式・論理”で表現されるに違いない。このように明確に表現される既存の枠組みを超える分子間共役の概念を“X”-conjugation として提唱し、世界に発信する。

【期待される成果と意義】

分子空隙の可能な限りの縮小による高密度化と、「高密度共役」の概念の下、本「高密度共役の科学」領域では、次の二つの極限に挑戦する。

軽い電子の極限への挑戦：共役分子固体中の 500  $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$  に達する電子移動度を、高密度化により更に向上させ、「有機化学に基づく高密度共役」と「最先端の機能物性科学的評価手法」の融合によって、既存の無機・酸化物材料を凌駕する優れた電子伝導やスピン輸送性における潜在性を明示する。

重い電子の極限：電子密度の自在制御は、電子間相互作用の精密制御にも直結する。特に、電子同士が互いに強く相互作用する場合に着目し、多体効果により重い電子の極限である電荷・スピンの局在化を分子性物質において実現する。さらに、分子性物質中の超構造の創出により、スピンフラストレーション・電荷フラストレーション・(反)強磁性・(反)強誘電性など重い電子の極限として発現する特異な電子相関と局在状態による物性を具現化する。

最終的に、既存の枠組みを超越する電子共役概念：“X”-conjugation を打ち立て、「軽量性・柔軟性・易加工性」に偏った現状の有機電子材料の設計指針を変革しつつ、分子性物質の示す光電子機能における“破格のダイナミックレンジ”を示す。

【キーワード】

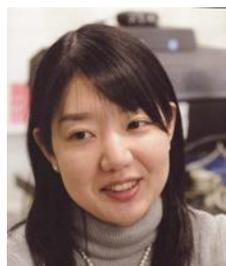
“X”-conjugation：本研究領域の目指す、従来の概念を超越した分子間に広がる新しい電子共役概念

【領域設定期間と研究経費】

令和2年度－6年度 1,168,000 千円

【ホームページ等】

<https://x-con.jp>  
X-conjugation-admin@t.kyoto-u.ac.jp



研究領域名 マテリアルシンバイオシスのための生命物理化学

長崎大学・大学院医歯薬学総合研究科（薬学系）・教授

やまよし あさこ  
山吉 麻子

領域番号： 20A205 研究者番号： 70380532

【本研究領域の目的】

我々の生体内には、「母体と胎児」あるいは「ヒトと腸内細菌」に代表されるような驚くべき共生形態が存在する。いずれの例においても、“「弱い相互作用」を介した分子間コミュニケーション”が取り入れられることで共生が成立している。一方で近年、バイオ医薬品や生体適合材料など、様々な機能性分子が開発されているものの、これら「非自己物質（マテリアル）」と生体との共生は、真の意味ではいまだ達成されていない。

本研究領域では、生体とマテリアルの共生形態を「物質共生（マテリアル・シンバイオシス）」と定義し、「物質共生とは何か？」という問いに答えるため、これまで「拒絶」・「回避（ステルス）」・「寛容」と呼称されていた生体応答を、「弱い相互作用」を主軸とした物理化学的観点から考察する。さらに、真の物質共生を実現するための基盤を構築することを目的とする。これにより、従来型の「生体機能に打ち勝つ」機能性分子の設計コンセプトに学術的変革をもたらし、「マテリアル・シンバイオシスのための学問分野」を新たに切り拓くことを目指す。

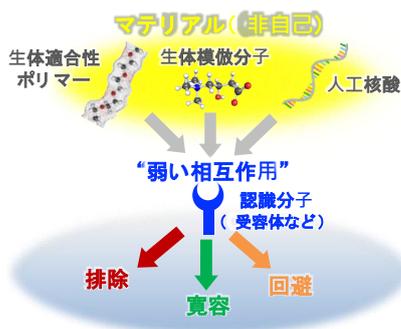


図1. マテリアルと生体分子の間に働く「弱い相互作用」を解明し理解する

【本研究領域の内容】

本研究領域が物質共生の機構を解明する学問分野を切り拓くため、生体が「弱い相互作用」を介してマテリアルを認識するメカニズムを解明することを目標とし、以下に示す三つの研究項目を展開する。

**研究項目 A01** では、物質共生のための「弱い相互作用」の測定拠点とする。生体内で起こる速く不安定な相互作用を可視化・定量化することは容易ではないため、イメージング、構造解析、物理化学解析、計算科学等の手法を駆使して、課題の解決を目指す。

**研究項目 A02** では、様々なマテリアルと生体分子との相互作用解析を進める。これを基に物質共生に必

要な物理化学的パラメータを抽出し、「物質共生パラメータ」として体系化することを目指す。

**研究項目 A03** では、生体が共生生物などの異物を寛容する際に利用している弱い相互作用に注目する。これを材料に組み込んだ新しい物質共生マテリアルを開発する。



図2. 本領域の研究体制

【期待される成果と意義】

従来型のマテリアルの分子設計は、生体に打ち勝ち、生体機能を凌駕することを目指したものが大半であった。また、マテリアルに対する免疫応答に着目すると、既報の多くは抗体やサイトカインの産生に代表される、いわば最終応答を解析することのみに終始していた。すなわち、「なぜそのマテリアルが免疫原性を持つのか？」ということには、これまでほとんど目が向けられていなかった。我々はその作用機序に着目し「物質共生とは何か？」を世界に先がけて解明し定義することを目指す。本研究領域の研究成果により、様々な最先端医薬品や機能性材料に対して認められる課題（免疫原性、悪性腫瘍誘発など）の解決が期待される。

【キーワード】

物質共生：物質と生体の共生形態を本研究領域では「物質共生（マテリアル・シンバイオシス）」と定義する。生体が「弱い相互作用」を介してマテリアルを認識するメカニズムから「物質共生」を理解・解明するところに、本研究領域の大きな特徴がある。

【領域設定期間と研究経費】

令和2年度－6年度 1,144,300 千円

【ホームページ等】

<https://material-symbiosis.jp>

## 研究領域名 超秩序構造が創造する物性科学



名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授

はやし こういち  
林 好一

領域番号： 20A206 研究者番号：20283632

## 【本研究領域の目的】

様々な材料における機能性の根幹は、母物質と添加元素（ドーパント）の組合せによる協調・協奏現象と言っても過言ではない。そのような中、結晶中のドーパント解析など欠陥の科学も進展し、その理解も大きく進んできた。しかしながら、ドーパントを点欠陥として利用する限り、創出できる機能性には限界がある。

本研究領域では、その限界を打破するために、「超秩序構造」を積極的に利用する。「超秩序構造」とは、異種元素ドーパントや空孔・空隙から構成されるナノ構造体のことを指す。例えば、図 1(a)における、In-Nb-Ti<sup>3+</sup>で構成される構造体は、酸化チタンの誘電率を 1000 倍向上させることに寄与する。通常の単元素ドーピングとは異なり、「超秩序構造」を利用すれば、元素の組合せや立体配置により無限の可能性を追究できる。

一方、図 1(b)は、結晶化前のゼオライトの原子配列であるが、幾何学的に規則性の高い空隙構造を形成する。この空隙構造とドーパントであるアルミニウムの関係はゼオライト触媒の高温耐久性と関連があることが知られている。このような、空隙構造とドーパントとの関係も「超秩序構造」と捉えられ、トポロジー解析によって、ナノスケール秩序となる特徴量が抽出できると考えている。

「超秩序構造」は、他にも幅広い材料群に存在しており、まさしく材料機能性の宝庫とも捉えられる。本研究領域では、「超秩序構造」を正確に決定できる計測、深く理解するための理論、構造制御のための合成プロセスを融合し、材料開発に新たなブレークスルーをもたらすことを目的とする。

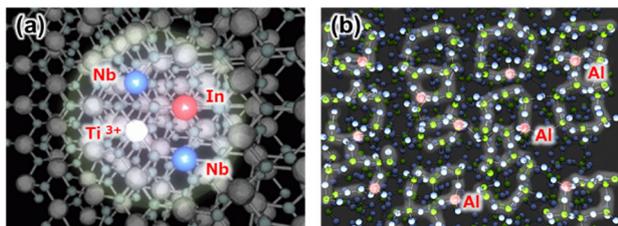


図 1 「超秩序構造」の例。(a):酸化チタンにおけるIn-Nb-Ti<sup>3+</sup> ナノ構造体。(b):ゼオライト前駆体における結晶トポロジー

## 【本研究領域の内容】

重点研究対象として、A「ドーパント誘起超秩序構造」、B「空孔・空隙を含む超秩序構造」、C「結晶/アモルファス境界の超秩序構造」を設定している。組織としては、A01 試料グループ、A02 手法グループ、A03 理論グループから構成される。

様々な材料に存在する「超秩序構造」に対し、サイト選択的な量子ビーム技術によって計測し、逆モンテカルロ法などを用いてそれらの構造を正確に決定する。その情報を基に、大規模第一原理計算などを駆使した理論的アプローチによって機能性解明と新規「超秩序構造」の設計に取り組む。また、パーシステントホモロジーに代表されるトポロジー解析などの数学的手法を活用し、「超秩序構造」等、これまで着手されなかった「非周期構造」の記述子の作成についても進める。なお、これらの知見を基に、機械学習などのデータ科学を活用した効率の良い「超秩序構造」材料の探索を推し進め、単なる置換サイトドーピングのような発想を超えた、トポロジー制御による高機能な材料創製への道筋を切り拓く。

## 【期待される成果と意義】

本研究領域は、ドーパントやガラスなどの非周期構造を決定する上で、世界最高水準レベルである分析・解析技術を有している。「超秩序構造」を対象とした研究を推し進めることにより、更なる分析・解析技術の先鋭化を達成でき、国際的な存在感を確固たるものとする。

これまで未開拓であった、結晶材料と非晶質材料とをつなぐ、あるいは、その中の特異点を見いだす新興の研究領域と捉えている。従来、接点の少ない分野の人的交流により、新たな学問の創出や若手人材育成が期待される。

応用面においても、幾つかのブレークスルーが期待される。例えば、「従来の 1000 倍の比誘電率と高温安定性を兼ね備えた革新誘電体の創製」、「超耐熱ゼオライト deNOx 触媒」、「100cm<sup>2</sup>/V·s 移動度の低コスト薄膜トランジスタ」、「割れないスマートフォン用カバーガラス」、「高温高信頼性キャパシタ」などであり、日本の産業発展に貢献できる。

## 【キーワード】

超秩序構造：ドーパントや空孔・空隙によって形成される特異ナノ構造体を指す。具体的には、異種元素や空孔による複合欠陥、また、アモルファスでもトポロジカル的なオーダーを示すナノスケール原子配列など。

## 【領域設定期間と研究経費】

令和 2 年度－6 年度 1,155,300 千円

## 【ホームページ等】

<http://www.hyperordered.org>  
khayashi@nitech.ac.jp



研究領域名 散乱・揺らぎ場の包括的理解と透視の科学

神戸大学・先端融合研究環・教授

まとは におさむ  
の じょう 修

領域番号： 20A207 研究者番号：20282593

【本研究領域の目的】

光学と、それによって生み出される多様なイメージング法は、自然科学の発展に必要な役割を果たしてきた。しかし、現在の光学をもってしても解明・克服できない重要な課題が、光の直進性を乱す散乱・揺らぎと呼ばれる現象である。波長と粒径で決まる散乱理論は既に確立されている一方、空気や水中、生体などの現実世界にあまねく存在する4次元（3次元+時間）の散乱・揺らぎに関しては、今なおそれらを取り扱う包括的な理論や学理が未構築である。統計モデルによって散乱係数を定義し、数式やシミュレーションを用いた光子伝搬解析によって複雑な経路をたどる光を解析することはできるが、この手法では散乱した光のごく一部の情報しか用いていないため、最先端自然科学への活用は限定的である。

本研究領域では、3次元空間にナノメートルからキロメートルサイズのマルチスケールにあまねく存在する散乱・揺らぎ現象を包括的に理解するとともに、克服することを目的とする。そのために、生体から大気まで現実世界の散乱・揺らぎ媒質を伝搬する光の物理量をことごとく計測し、最新の理論と深層学習を駆使して、マルチスケールに存在する散乱・揺らぎ現象を解明する。さらに、散乱・揺らぎ媒質そのもの、及びその向こうを透視することで、生命科学や天文学などの自然科学、情報通信工学などの工学の諸分野に革新をもたらす。以上の研究の推進により、散乱・揺らぎ現象を取り扱う統一的な融合学術領域として「散乱透視学」の創成が本研究領域の目標である。

【本研究領域の内容】

本研究領域では、実世界の散乱・揺らぎ媒質と光学系、データ処理までを一体化して捉え、光学的可視化技術と数理モデリング手法を融合させることで、散乱・揺らぎ場のマルチスケールイメージングに革新をもたらす「散乱透視学」を創成する（図1参照）。具体的には、現実世界のマルチスケール散乱・揺らぎ媒質である生細胞・組織、地表層空気、大気を伝搬する光が受ける影響やそこに含まれる散乱体の特徴・光学特性を詳細に計測する技術を確認するとともに、それらを数理的に解析・モデル化する数理モデリングを行う。これらによって、散乱・揺らぎを包括的に理解するとともに、克服・活用する技術を確認する。そのために三つの研究項目を設置する。①複雑かつ多様な散乱・揺らぎ場の性質を包括的に解明するとともに、それを補正して透視を達成するためのイメージング手法や光学システムに関する物理的基盤研

究を担う研究項目 A01:物理基盤による散乱透視学、②散乱・揺らぎ場の本質的理解のための数理モデリングと数理的アプローチに関する数理的基盤研究を担う研究項目 A02:数理基盤による散乱透視学、③実世界における散乱・揺らぎ場における計測と、散乱体とその性質の解明、及び透視手法の有効性を検証する研究項目 A03:実問題における散乱透視学。研究項目内及び研究項目間連携により革新的学術領域を切り拓く。

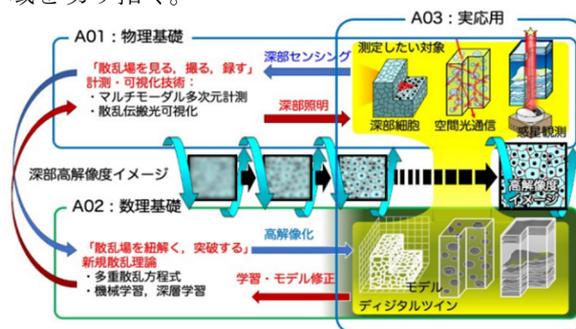


図1 散乱透視学を創成する研究項目と連携

【期待される成果と意義】

本研究領域での研究成果により、3次元空間にナノメートルからキロメートルサイズのマルチスケールにあまねく存在する散乱・揺らぎ現象を包括的に解明する融合学術領域「散乱透視学」を確立することができる。これにより散乱・揺らぎを取り除き、内部にある情報を明らかにすることが可能になる。また、散乱・揺らぎそのものを情報として活用することも可能になる。散乱透視学が変革する学術領域は本研究領域で取り組む生命科学、情報通信工学、天文学に留まらない。マルチスケールに適用可能なため、3次元ナノ材料開発などの物理工学、異常細胞検出や非接触型体調管理などの医科学、インフラ欠陥検査などの保全工学など多岐にわたり、これらの領域で学術変革につながるものと期待する。

【キーワード】

散乱・揺らぎ：光は屈折率が一樣な媒質では直進するが、空間的・時間的に一樣でない媒質では光の直進性が失われ、光の経路が特定できなくなる。

【領域設定期間と研究経費】

令和2年度－6年度 1,159,100千円

【ホームページ等】

[http://www.org.kobe-u.ac.jp/scattering\\_clairvoyance/](http://www.org.kobe-u.ac.jp/scattering_clairvoyance/)