

# 世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) 令和6(2024)年度拠点構想進捗状況報告書

ホスト機関名	広島大学	ホスト機関長名	越智 光夫
拠点名	持続可能性に寄与するキラルノット超物質拠点 (WPI-SKCM <sup>2</sup> )		
拠点長名	Ivan I. Smalyukh	事務部門長名	楯 真一

作成上の注意事項：

※令和7(2025)年3月31日現在の内容で作成すること。

※文中で金額を記載する際は円表記とすること。この際、外貨を円に換算する必要がある場合は、使用したレートを併記すること。

## 拠点構想進捗状況の概要 (2ページ以内に収めること)

WPI-SKCM<sup>2</sup>は、キラルノット超物質という新しいパラダイムを提示する「世界から目に見える研究拠点」として発展を続け、純粋数学と基礎科学を様々な学術分野と融合することでレジリエントな持続可能性の実現を目指す世界で唯一の研究拠点である。世間一般には、純粋数学は複雑な記号や抽象概念を扱い、一部の専門家にしか役に立たないという誤解が根強く存在する。WPI-SKCM<sup>2</sup>は、より良い安全な未来の実現に必要不可欠である融合研究において、純粋数学における結び目理論が共通言語の役割を果たすことを明確に示し、このような固定観念を払拭してきた。2024年度に達成したWPI-SKCM<sup>2</sup>の研究ブレークスルーは、複数の学術分野に変革をもたらし、ノーベル賞受賞者・野依先生の「*Researchers must ... contribute toward constructing the sustainable society in the 21st century.*」という言葉を体現する模範的実証例になっている。その一例として、結び目理論に基づくメソ多孔性超物質をSmalyukh 拠点長が主導して研究し、地球における温室効果を模倣した煉瓦サイズの材料を開発した。この研究は、冷暖房エネルギーが非効率に消費されている建物の外壁を、エネルギーを創り出すシステムへと変換するもので、将来の建築材料に革新をもたらす可能性がある(この成果は、純粋数学、ソフト凝縮系物理学、惑星科学、物質科学および建築工学の専門的知見を統合して得られた)。第二の例として、広島大学 PI の佐藤が主導する研究では、結び目形状をもつ分子で構成されたマイクロ多孔性超物質を開発した。この超物質は、事前の分子設計に基づき CO<sub>2</sub>などの分子を高効率で捕捉する。この成果も、純粋数学に着想を得た分子設計、化学合成およびAI強化型計算モデリングの学際的融合によって実現した。第三の例では、海外PIであるMITのDunkelが主体となり、純粋数学分野のダイマー被覆モデルに立脚した「組合せ論的渦格子」という概念を導入して、超物質の準原子状構成要素を表現する渦配列を研究した。このような渦配列は、低環境負荷型データ記憶方式に応用でき、トポロジカル量子相に対応する古典的物理系とみなせることを示した。従来の研究組織では、シニア教員が研究プロジェクトを発案・主導してきたが、WPI-SKCM<sup>2</sup>では、若手研究者が画期的な研究活動を先導する環境を整えている。例えば、本拠点で創設した若手研究者滞在型の共同研究支援プログラム「internKNOTship」に参加した高野は、オンチップ型キラル液晶DFBレーザーを備えたフォトニックチップに関する研究と、繊維分野におけるキラル編み物構造の研究という、二つの新たな共同研究を開始した。これらの研究は、持続可能な社会を実現する変革をもたらす可能性があり、前者はブレイン・コンピュータ・インターフェースへの応用、後者は繊維リサイクルへの応用が期待されている。

WPI ワーキンググループからの先見的な提言を受け、Smalyukh 拠点長は、研究分野を融合した共同研究を推進するため、複数のフラッグシップ・プロジェクトを立ち上げた。これらのプロジェクトでは、様々な時空間スケールにおける結び目トポロジーとキラリティの統合的研究を組織化・集約する。素粒子から生体システム、さらに宇宙システムにわたる自然界の階層構造全体が研究対象であり、純粋数学、惑星科学、宇宙論などの研究分野も含む。この取り組みにより、本拠点の中核的な研究目標に沿って、自然界には存在しない特性をもつキラルノット超物質を創出する。また、サブアトミック・スケールから宇宙スケールに及ぶ物理現象を直接実験可能な卓上サイズの物質系として再現し、その本質を理解する。本拠点で推進する基礎研究は、持続可能でエネルギー効率の高い建築技術、地球外で居住するために必要となる材料、バイオメディカル検出技術、温室効果ガスの選択的回収、疾患治療、さらにスピントロニクスや記憶デバイスなどの幅広い技術的応用につながると期待できる。複数のPIが共著者となり分野融

合型の研究成果を生み出した（本拠点の研究成果の約 25%は、所属する複数のシニア研究者による共著論文であり、将来的に 50%超の達成を目指す）。2024 年に本拠点が発表した論文には、21 か国・102 の国際機関が共著機関として含まれている。

WPI-SKCM<sup>2</sup> は、「国際的な研究環境の実現」を含め、「次代を先導する価値創造」という WPI ミッションの達成に向けて着実に前進している。海外の研究機関に所属する PI は、研究グループとしての広島大学での活動を拡大し（co-PI を選定中）、広島大学に在籍する学生や博士研究員のメンタリングの実施および internKNOTship 参加者の派遣を通じて、共創的研究を推進している。拠点長が主導し、本拠点に所属する全ての学生と博士研究員に共同メンターを少なくとも 3 名（主メンター 1 名と副メンター 2 名）ずつ配置し、共同メンターは異なる研究分野から選出するとともに、1 名以上は海外の研究機関に所属する PI を指定している。ウィークリーセミナーシリーズでは、学際的な研究で世界的に著名な研究者を講師として招き、分野横断的な国際共同研究の実施につながるよう運営している。さらに、本拠点が主催するシンポジウム、国際会議およびスクールを通じて、学生と博士研究員は、関連する学際的な研究領域における世界最高峰の研究者と直接交流し、議論する機会を得ている。

広島大学における国際頭脳循環のハブとしての機能を強化するため、他の WPI 拠点や世界トップレベルの研究機関における好事例を取り入れながら、事務運営体制を高度化した。事務部門長と 3 名の副拠点長が拠点長をサポートし、合議制リーダーシップを導入した常設の運営委員会と併せて、円滑な拠点運営と迅速な意思決定を行う体制を整えた。また、拠点全体の運営を議論するため、拠点執行部が参加する外部諮問委員会、越智広島大学学長と拠点長の月例会議および PI が参加する会議を定期的で開催している。専任の事務部門長として岩田が新規着任予定であり、広島大学による海外 PI の正式雇用手続きや、博士課程の学生の採用強化を目的とした海外 PI の所属機関との協定締結など、喫緊の課題への取り組みを加速させる。日英両言語を話せる支援職員（約 20%は海外出身者）を雇用し、海外から広島大学を訪問する研究者の受け入れや、国内外の研究試料を円滑に共有する体制を整えた。これらの職員は、ハイキングを含む国際交流活動、サマースクールおよびウィンタースクールなどの取り組みを通じて、本拠点にとって最も重要である、広島大学や世界各地に広がる家族のように親密な SKCM<sup>2</sup> ネットワークの形成と発展を支えている。本拠点は、WPI ミッションである「大学組織の改革」を実現するために必要な規則を定め、広島大学による全面的な支援を受けた部局として公式に認定されている。2025 年末までには、広島大学キャンパス内に新研究棟が完成する予定である。新研究棟は、融合研究の推進を最も重視して綿密に設計されている。日本における従来の研究棟とは大きく異なり、充実した共用設備と、研究の議論やアイデア交換を促進する共創エリアを備えている。また、博士課程の学生を含む優れた研究人材を確保し国際頭脳循環を進めるため、コロラド大学ボルダー校のキャンパス内に北米サテライト拠点を設置する予定である。

WPI-SKCM<sup>2</sup> は、結び目理論およびキラリティに関わる専門家を様々な研究分野や世界中のトップレベルの研究機関から集め、独自のネットワークを構築した。そして、レジリエントな持続可能性を志向した基礎研究において、国際的なリーダーシップを発揮している。例えば、九州大学の WPI-I<sup>2</sup>CNER と共同で、純粋数学と持続可能性に焦点を当てた 2024 年ウィンタースクールおよびワークショップを開催した。また、東北大学の WPI-AIMR と連携し、結び目理論から得られるモデルに基づく再利用可能な繊維に関するワークショップを共催する。アメリカの国立再生可能エネルギー研究所（NREL）およびコロラド大学ボルダー校とは、エネルギーと持続可能性をテーマにしたワークショップの共催を計画している。持続可能性に重点を置いたこれらの若手研究者育成プログラムを通じて、持続可能性を志向した研究活動という本拠点の中核的ミッションをさらに強化し、体系的に推進している。

WPI-SKCM<sup>2</sup> は、PI、ファカルティレベルの Visiting Professor およびアフィリエイトメンバーなど 150 名超のメンバーを世界中から結集し、真にグローバルな SKCM<sup>2</sup> パートナーシップを構築した。メンバー間で連携して、本拠点における極めて学際的な研究プロジェクトに従事する博士研究員や博士課程の学生の共同メンタリングを実施した。過去 1 年間で、所属機関名に「WPI-SKCM<sup>2</sup>」が含まれる研究・総説論文を Nature などの一流学術誌への掲載も含めて 200 編以上発表した。本拠点のシニアメンバー間の共著論文数は、2023 年度のサイトビジット時点で 10 編未満であったが、2024 年度末までに 100 編を超えた。論文発表に加えて、トップレベルの学術会議で基調講演や招待講演を行い、研究成果を効果的に発信した。さらに、アウトリーチ活動を通じて、本拠点の研究パラダイムの魅力を一般市民や児童・生徒に積極的に伝えた。本拠点の研究活動はメディアでも幅広く取り上げられ、大きな関心を集めた。