

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月7日現在

機関番号：14401

研究種目：国際共同研究加速基金（国際活動支援班）

研究期間：2015～2018

課題番号：15K21725

研究課題名（和文）国際連携による高次複合光応答系の高度化とネットワーク形成

研究課題名（英文）Advancement and network formation of the project Photosynergetics by international collaboration

研究代表者

宮坂 博（MIYASAKA, Hiroshi）

大阪大学・基礎工学研究科・教授

研究者番号：40182000

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 47,200,000円

研究成果の概要（和文）：光化学は、人類喫緊の課題である光エネルギー変換、物質合成、また多くの光機能物質にも深く関わるが、光の有効利用には共通の制限が存在する。この制限の超克を目的に開始した新学術領域「高次複合光応答」の研究展開を、国際共同研究の実施により加速するために国際活動支援班として新学術領域研究者の海外研究機関への派遣、海外研究者の招聘、国際ワークショップの開催などの活動を行った。これらの結果、国際共著論文182本が出版されると共に、フランスとの間ではCNRSプログラム“国際共同研究所”が採択され、短期的な成果のみならず中長期的にも国際共同研究を展開するための拠点形成がなされた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光エネルギー利用に対する共通の基礎的制限の超克は、今後の持続的社會構築のためにも重要な課題であり、国際的にも競争だけでなく協調のある研究体制の構築が求められている。この国際活動支援班では、光利用に対する制限の超克を目指して開始された科研費新学術領域「高次複合応答」の研究の加速と発展、また国際共同研究拠点の構築のために国際共同研究を支援した。その結果、数多くの共同研究論文が得られるとともに、フランスとの間では「国際光化学共同研究所」が設置された。今回の活動で得られた国際共同研究体制をより多くの国へと発展させることにより今後の光利用に対する有効な国際共同研究体制構築への礎が形成された。

研究成果の概要（英文）：Photochemistry takes important roles in the light energy conversion, material synthesis and many photofunctional materials. However, there are three common limitations, such as Kasha's rule, annihilation of excitons and the restriction in optical transition, for the effective utilization of the light energy. This program aimed to accelerate the research development of the Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Area "Photosynergetics", which started with the purpose to overcome above limitations, via sending and inviting researchers between the project groups and international institutes and holding international workshops. As a result of these activities, 182 international coauthored papers are published and the CNRS program "Internationally associated laboratory, LIA" was adopted with France. These results indicate that present activities have contributed not only to the short-term development but also to the long-term international collaborations.

研究分野：物理化学、光化学

キーワード：光化学 光機能材料 多重励起プロセス 電子状態変調 禁制電子状態 フォロクロミズム

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

光化学の領域では1950年代までの基礎過程の発見、時間分解計測、理論を含めた諸過程・反応挙動に対する支配因子の解明、光誘起電子移動、光触媒、レーザー光化学、光応答性分子開発など、この半世紀以上の間に広範な研究が展開されてきた。日本の研究者は、これらの分野において最も権威のある国際賞であるPorter Medal (約30年で15名に授賞)を5名(本多、又賀、増原、入江、井上)が受賞するなど、学問的に先導的な役割を果たしてきた。光化学領域は各国のみならず、アジア・オセアニア、ヨーロッパ、アメリカ(南米を含む)の各地域に学協会が存在し、各国、協会間の連携、学会・討論会の開催、授賞など、国際的な交流活動を活発に行っている。日本は、上述のような“質”のみならず、研究者人口の多い国として“量”の面でも、また国際的学協会やこれら国際学会の委員や会長、委員長などとして、研究分野の総合的発展に多大に寄与し分野全体をリードしてきた。

この間、光化学の研究対象も広範に変化・発展してきた。2012年に化学系総合雑誌であるJ. Am. Chem. Soc. (JACS)が、ここ数年の光化学研究の著しい進展に関わる26本のJACS掲載論文を選択し、その動向を、1. 多重励起、多光子を利用した新規分子光応答、2. 分子、超分子光機能集合体の作製、3. 固体系の光化学応答、4. 可視光利用の光物質変換、5. プラズマモニクス、6. 生体計測・光医療への応用の6つの分野に分類し報告した(JACS Select 14)。この中には領域代表者らの高次多光子反応による一波長可逆光異性化反応制御(JACS 2011)も項目1の代表例として挙げられている。我が国においては、光エネルギー利用に直結した課題のみが大きな注目を集めているが、国際的な化学全般では、特に許容一光子吸収と一分子応答を超える分子系の応答が今後の分子系の光利用の発展に極めて重要であること指摘されている。上記の1-6の多くの項目は本研究課題に深く関わる内容であり、本領域研究が今後の光化学研究における国際的な潮流となりうることを示す一例となっている。

これらの国際的な学協会ネットワークの中でも、我が国において“高次複合光応答”を目的とする新学術領域として、分子材料科学、高分子材料などを含め広範な専門を持つ多数グループの研究プロジェクトがスタートしたことは大きな注目を集めており、各国における個人あるいはグループの研究予算申請などにおいても、今後の研究動向の代表例として紹介されるとともに、本領域のコンセプトを用いた研究提案も行われている。

### 2. 研究の目的

2014年から開始された本新学術領域では、計画研究・公募研究として広範な研究領域のバックグラウンドを持つ30以上のグループ(2015-2016年、32班、2017-2018年、34班)が相補的に研究技術・手法等を共有する共同研究のみならず、領域の目的に基づく革新的な高次の共同研究を展開してきた。開始後1年を経過した2015年には、効率的な研究進捗や飛躍的展開のために必要な測定手法や新材料なども開発されつつあり、共同研究の広範化やシナジー効果による効率化、短期またな中長期的国際的研究体制の構築や拡充などの課題が具体化しつつあった。これらを背景に2015年に公募が開始された「国際活動支援班」により国際共同研究を推進することは、以下のように研究の進捗や人材育成の2つの観点から、本領域および関連分野の発展に貢献するところが多いと考えた。

研究の進捗については、既に海外において開発された手法や物質を、積極的に国際共同研究を行い、これらを手に入れることで研究推進における時間の短縮が可能となる。既に数力国との間では長年にわたり共同研究を展開してきており、これらの拡充により、本領域における研究のより一層の進捗が期待できる。また、若手人材育成の観点では、国内人材の海外への派遣あるいは海外からの招聘により、グローバル化された環境における研究活動を通じて、人材の育成が加速できる。一方、本領域で開発された技術、新物質、概念などが海外に流出することは、国際的競争を考えれば短期的には不利となる。しかし信頼関係に基づく長期的な共同研究体制が構築されている場合には、研究の発展に大きく寄与することが可能であり、たとえば日仏の間ではこのような関係が形成されてきた。これらの信頼関係を有する共同研究体制を、広く欧米、アジア諸国に対しても拡大し研究者間のネットワーク形成を行うことにより、真の国際競争力を維持、拡充することが可能となると考えた。

特に多光子励起反応系や多数励起分子の協同的光応答系は本領域の研究参加者が大きなオリジナリティーを持つ重点課題であり、単なる一つのトピックのみならず、分子系の光利用の制限となっている大きな3つの課題を克服する突破口と捉えて、参画メンバーは新規分子系の開発や光反応機構の解明に取り組んでいる。このような複合励起応答分子系は世界的にも高い関心を集めており、基礎研究から産業化に向けて各国が精力的に取り組んでいる課題にも深く関連している。当該分野の基礎研究で世界をリードしている現段階において日本の研究者が国際共同研究を先導し、個人研究者間でも研究グループ間においても、長期的に信頼関係の確立された関係を築くことは、現在の日本のオリジナリティーを国際関係の中で正当に記録し日本の存在感を維持・向上するための基本的戦略と考えられる。

このような背景を基に、国際支援活動により、国内研究者による「先鋭化」だけでなく、海外研究者との共同研究による「融合化」を図り、国際社会を牽引することで、より高度に階層化した研究領域として発展させるとともに、国際感覚を身に着けた次代を担うグローバル研究リーダーを育成することを目的とした。

### 3. 研究の方法

若手研究者および大学院生の海外への派遣、海外からの受入を計画の中心に据える。領域内の班員の研究室からの派遣と、班員の研究室への受入のための旅費、滞在費を本国際活動支援班経費で支出する。また、単なる相互派遣にとどまらず、国際共同研究を推進するために、班員または班員研究室スタッフの短期の相互訪問や国際共同研究実験に関わる実験消耗品や装置の経費を支出する。

派遣、受け入れに対しては、原則として領域内研究者に対して公募を行い、国際支援班で審査を行い、派遣・受け入れについて決定する。加えて必要と考えられる場合には、個々の研究グループに対して海外グループとの共同研究の提案を行う。また、アジアの各国に対してはアジア光化学協会などのネットワークを通じて、若手研究者や大学院生を対象とした共同研究の直接的提案を公募し、国際的な学会活動などに未だ十分に参画できてはいないが、研究内容や将来性の優れた若手研究者を受け入れ、長期にわたり日本との共同研究を継続できるアジアの若手研究者の育成にも配慮する。

これらの活動のスムーズな展開のため、総括班グループの宮坂(領域代表、A01 研究班総括)、河合、阿部(A02、A03 研究班統括)、松田(事務局)がコアグループとして、研究分担者と協力して海外各地域の担当を行うと共に、4部門からなる実施体制をとる。

(1) 共同研究企画部門: 海外研究者との共同研究を積極的に推進することにより、本領域のメンバーの相互協力だけでは困難で、かつ、光化学研究分野の次代を担う若手研究員の育成につながる新しい材料合成技術や物性測定技法、理論手法などを国際的なスケールで共有化を図る。このために、共同研究に関する情報の収集、企画、調整、公募、選考等を行う。

(2) 国際広報部門: 実験データについて多様な観点から考究することで、複合励起応答の本質について国際的理解を共有する。このような共同研究を推進することで、本新学術領域研究を契機として、我が国から発信した Photosynnergetics (従来の“一光子吸収と一分子応答”を超える新規複合励起応答分子系) という新しい光化学の概念を世界に浸透させることを目指す。すなわち、我が国が Photosynnergetics の国際的な研究者コミュニティをリードし、中心的な役割を担う立場になることが肝要である。このためには、広報活動も重要な役割を果たす。これらについては、総括班の広報グループが担当する。

(3) 融合推進・若手育成部門: 本領域は、複合励起応答分子系に関して理論化学、合成化学、物性解析などの異なるフィールドで活躍する第一線の研究者から構成されている。国際活動支援の下で研究室の壁を取り払い、国内外のメンバーが集結して困難な研究課題に取り組む「Base for Photosynnergetics」を設けることは、当該研究分野の国際的な発展につながるだけでなく、若手研究者の意欲の涵養にも寄与する。さらに共同研究への参入を促すことで、世界レベルの研究として発展させる機会を設ける。これらについては、総括班のシンポジウム担当、若手育成担当が中心となって推進する。

(4) 国際活動評価部門: 本領域には、これまで当該分野で築いてきた強固な国際研究ネットワークがあり、豊富な研究実績のみならず、多様な人的ネットワークの存在が強みである。ほとんどの新学術領域研究では若手育成も視野に入れた若手セミナーや勉強会が設置されているが、本領域はこれまでの国際交流の実績に基づき、研究推進、若手育成、国際的プレゼンスの維持向上を目的に、着実に支援活動を推進できると考えられる。しかしこれに加えて、より一層の効果をj得るために、的確な助言を得る機会を設ける。これについては、現在の国内(4名)、国際(3名)の評価委員に加えて、各国を先導する研究者からの助言をうける。

### 4. 研究成果

以下には、各年度における国際共同研究に関わる活動を示す。

#### 平成 27 年度 (2015)

2015 年 12 月に国際活動支援班の活動が開始された。

#### 共同研究実施

派遣 4 件 (オーストラリア 1 件、ベルギー 2 件、フランス 1 件)

招聘 5 件 (カナダ 1 件、フランス 4 件)

#### 共同研究打ち合わせ

派遣 2 件 (インド 2 件)

#### 平成 28 年度 (2016)

2016 年 4 月 1 日にフランス大使館(東京広尾)にて「日仏光化学国際研究所の設置に向けて」と題する公開セミナーを開催し、一般の参加者を含め、日本側参加者約 30 名、フランスを中心とする海外からの参加者 20 名が参加し、最近の研究発表、CNRS 国際共同研究所(LIA)プログラム申請への打ち合わせを行った。

2016 年 6 月 2-4 日には大阪大学において、総括班と共同で第 1 回国際シンポジウムを開催した。

また 2017 年 3 月には、フランス高等師範学校パリサクレー校にて第 1 回日仏国際ワークショップを開催した。

#### 共同研究実施

派遣 6件(フィンランド2件、フランス3件、カナダ1件)

招聘 10件(インド8件、フランス1件、カナダ1件)

#### 共同研究打ち合わせ

派遣 2件(フランス2件)

招聘 8件(フランス4件、ドイツ1件、シンガポール1件、インド1件)

#### 平成 29 年度 (2017)

フランス CNRS プログラム“国際共同研究所(LIA)”の採択を受けて、フランス高等師範学校パリサクレー校にて2017年11月30日に日仏セミナーを、フランス リール大学にて2018年3月29-30日に第2回日仏国際ワークショップを開催した。

#### 共同研究実施

派遣 12件(フィンランド1件、フランス9件、ベルギー1件、米国1件)

招聘 8件(フランス1件、オランダ1件、ポーランド1件、インド2件、タイ1件、中国2件)

#### 共同研究打ち合わせ

派遣 3件(インド2件、オランダ3件、台湾1件)

招聘 8件(フランス4件、ドイツ1件、シンガポール1件、インド1件)

日仏セミナー(フランス 高等師範学校パリサクレー校)に派遣 5件

日仏ワークショップ(フランスリール大学)に派遣 15件

#### 平成 30 年度 (2018)

2018年5月21-23日大阪大学にて第3回日仏国際ワークショップを開催した。また5月23日午後からは、京都フランス領事館においてLIAプログラム調印式を行った。

#### 共同研究実施

派遣 18件(フィンランド3件、フランス8件、ドイツ1件、イギリス1件、ベルギー2件、オランダ2件、米国1件)

招聘 11件(フランス3件、チェコ1件、インド3件、タイ3件、スペイン1件)

#### 共同研究打ち合わせ

派遣 2件(フランス1件、台湾1件、アイルランド4件)

招聘 5件(フランス4件、スペイン1件)

総計として、2015年12月から2019年3月までの3年4月の間に、共同研究実施のための派遣40件、招聘34件を行った。また、フランスとの間ではCNRSプログラム“国際共同研究所LIA”の構築により、中長期的共同研究の体制が整備された。これらの国際活動支援班の活動により、新学術領域「高次複合応答」の実施機関(2014-2018年度)の間に、国際共著論文として182本(領域総論文965本)が報告され、今後の継続的国際共同研究発展の礎が構築できた。

また若手成長については、大学院生・若手研究者の国際学会における講演賞・ポスター発表賞などとして40件以上の受賞があり(国内国際学会総計では216件)、今後の光化学関連分野の研究継続のための国際的人材育成にも貢献できた。

#### 5. 主な発表論文等

[その他]

#### ホームページ等

<http://photosynergetics.jp/>

#### 6. 研究組織

##### (1)研究分担者

研究分担者氏名: 河合 壯

ローマ字氏名: (KAWAI, Tsuyoshi)

所属研究機関名: 奈良先端科学技術大学院大学

部局名: 先端科学技術研究科

職名: 教授

研究者番号(8桁): 40221197

研究分担者氏名: 阿部 二郎

ローマ字氏名: (ABE, Jiro)

所属研究機関名：青山学院大学  
部局名：理工学部  
職名：・教授  
研究者番号（8桁）：70211703

研究分担者氏名：松田 建児  
ローマ字氏名：(MATSUDA, Kenji)  
所属研究機関名：京都大学  
部局名：工学研究科  
職名：教授  
研究者番号（8桁）：80262145

研究分担者氏名：内田 欣吾  
ローマ字氏名：(UCHIDA, Kingo)  
所属研究機関名：龍谷大学  
部局名：理工学部  
職名：教授  
研究者番号（8桁）：70213436

研究分担者氏名：重田 育照  
ローマ字氏名：(SHIGETA, Yasuteru)  
所属研究機関名：筑波大学  
部局名：数理物質系  
職名：教授  
研究者番号（8桁）：80376483

研究分担者氏名：玉井 尚登  
ローマ字氏名：(TAMAI, Naoto)  
所属研究機関名：関西学院大学  
部局名：理工学部  
職名：教授  
研究者番号（8桁）：60163664

研究分担者氏名：前田 大光  
ローマ字氏名：(MAEDA, Hiromitsu)  
所属研究機関名：立命館大学  
部局名：生命科学部  
職名：教授  
研究者番号（8桁）：80388115

研究分担者氏名：内田 欣吾  
ローマ字氏名：(UCHIDA, Kingo)  
所属研究機関名：龍谷大学  
部局名：理工学部  
職名：教授  
研究者番号（8桁）：70213436

研究分担者氏名：Vacha, Martin  
ローマ字氏名：(VACHA, Martin)  
所属研究機関名：東京工業大学  
部局名：・理工学研究科・  
職名：教授  
研究者番号（8桁）：50361746

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。