

2. 【研究計画】 適宜概念図を用いるなどして、わかりやすく記入してください。なお、本項目は1頁に収めてください。様式の変更・追加は不可。

(1) 研究の位置づけ

特別研究員として取り組む研究の位置づけについて、当該分野の状況や課題等の背景、並びに本研究計画の着想に至った経緯も含めて記入してください。

■ 当該分野の状況

地球上の生命にとって最も重要なエネルギー源は太陽光である。太陽光を巧みに利用する光合成反応は、光吸収とそれに続くエネルギー移動により始まる。図1Aのように、光合成生物は光吸収能力を上げるため、色素タンパク質が複数個集まった超複合体を形成する。色素分子が光を吸収して励起されると、その励起エネルギーはタンパク質の熱的な構造揺らぎの中で、数十の色素分子を介して反応中心まで効率よく伝達される。

従来のエネルギー移動機構の研究では、図1Bのように構造揺らぎを無視した平均的な構造やエネルギー移動速度に注目してきた（例えば[J Phys Chem B 2015, 119, 8321]）。一方で、構造揺らぎは色素分子の励起状態を変化させ、エネルギー移動速度に大きな影響を与える。構造解析に基づいた計算によって、揺らぎで生じるレアな構造の方が、大多数を占める支配的な構造よりもエネルギー移動速度が5倍以上も大きいことが示唆された[Nat Commun 2023, 14, 4650]。このように構造揺らぎによって平均からずれたレアな構造が高効率なエネルギー移動を支えている可能性がある（図1C）。しかし、構造揺らぎに伴ってエネルギー移動の速度や経路がどのように変化し制御されているかを実験的に解析した例はない。

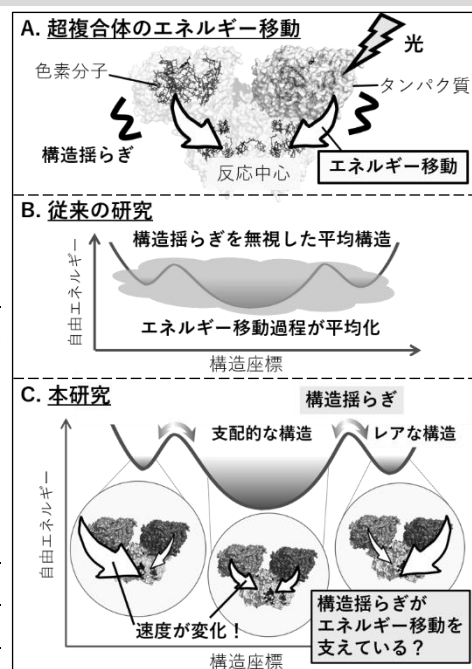


図1. 研究概要図

■ 当該分野の課題

超複合体で生じるエネルギー移動の速度や経路は、時間分解蛍光スペクトルから求められる[Photosynth Res 2009, 101, 119]。図2のように、時間分解蛍光スペクトルは、色素分子の蛍光寿命と蛍光波長の2次元ヒストグラムであり、エネルギー移動過程を反映する。一方で、構造揺らぎの寄与まで解明するには、図1Cのように、自由エネルギー曲面を定量化し、各構造状態での速度や経路を求める必要がある。そのためには以下の2つの課題を達成する必要があるが、技術的に非常に難しく、世界的にも解析に成功した例がない。

第一に、時間分解蛍光スペクトルを超複合体1粒子ごとに測定する必要がある。1粒子測定でなければ、蛍光信号が平均化され、揺らぎの情報は消失する。しかし、蛍光の検出感度の低さが大きな壁となっていた。第二に、蛍光光子の寿命と波長の時系列データを測定し、構造揺らぎを反映した時間分解蛍光スペクトルの時間相関を解析する必要がある。この相関解析から、構造揺らぎによる構造状態間の遷移の速度および自由エネルギー差を定量できると同時に、各構造状態でのエネルギー移動速度や経路も同定できる。しかし、寿命と波長の膨大な時系列データからそれらの揺らぎの情報を抜き出すことは容易ではない。

そこで本研究では、①単一超複体の時間分解蛍光スペクトルを測定し②時間相関を解析できる新規手法を開発して上記課題を達成し、超複体の構造揺らぎを含めたエネルギー移動機構を明らかにする。

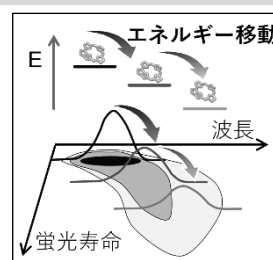


図2. 時間分解蛍光スペクトル

■ 本研究計画の着想に至った経緯

申請者はこれまで、理論限界の空間分解能を持つ共焦点顕微鏡を作製し、極限まで検出感度を高めることで、1分子レベルでの蛍光イメージング測定や蛍光スペクトル測定、蛍光寿命測定を実現してきた（成果4, 6, 論文執筆中）（図3）。この顕微分光技術に、検出感度に優れるフーリエ分光法を組み合わせることで、単一超複合体レベルで時間分解蛍光スペクトルを測定できると考えた。さらに、申請者の高度な数値解析技術を駆使して、時間分解蛍光スペクトルの時間相関を解析すれば、構造揺らぎの寄与を定量できると考え、本研究の着想に至った。

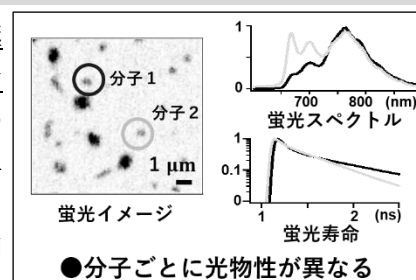


図3. 顕微分光測定による研究成果

【研究計画】(続き) 適宜概念図を用いるなどして、わかりやすく記入してください。なお、各事項の字数制限はありませんが、全体で2頁に収めてください。様式の変更・追加は不可。

(2) 研究目的・内容等

- ① 特別研究員として取り組む研究計画における研究目的、研究方法、研究内容について記入してください。
 - ② どのような計画で、何を、どこまで明らかにしようとするのか、特別研究員奨励費の応募区分(下記(※)参照)に応じて、具体的に記入してください。
 - ③ 研究の特色・独創的な点(先行研究等との比較、本研究の完成時に予想されるインパクト、将来の見通し等)にも触れて記入してください。
 - ④ 研究計画が所属研究室としての研究活動の一部と位置づけられる場合は申請者が担当する部分を明らかにしてください。
 - ⑤ 研究計画の期間中に受入研究機関と異なる研究機関(外国の研究機関等を含む。)において研究に従事することも計画している場合は、具体的に記入してください。
- (※) 特別研究員奨励費の研究期間が3年の場合の応募総額は(A区分)が240万円以下、(B区分)が240万円超450万円以下(DC1のみ)。2年の場合は(A区分)が160万円以下、(B区分)が160万円超300万円以下。1年の場合は(A区分)が80万円以下、(B区分)が80万円超150万円以下。(B区分については研究計画に必要な場合のみ記入)

(2)-① **研究目的** 修士課程で取り組んできた単一粒子顕微分光測定をさらに発展させ、**①単一超複合体レベルの時間分解蛍光スペクトルの②時間相関**を解析できる手法を新たに確立し、超複合体の構造揺らぎを含めたエネルギー移動機構を解明することを目的とする。

研究方法・研究内容 以下の3つの計画に従って研究を実施する。

計画(1) 単一超複合体レベルで時間分解蛍光スペクトルを測定できる光学系を構築し、超複合体のエネルギー移動を解析するための実験的基盤を構築する。これにより、第一の課題を達成する。

計画(2) 時間分解蛍光スペクトルの時間相関解析手法を開発し、構造揺らぎとエネルギー移動の関係を明らかにするための解析的基盤を構築する。これにより、第二の課題を達成する。

計画(3) 緑色硫黄細菌の2FMO-RC超複合体を測定し、構造が揺らぎながら安定で高効率なエネルギー移動を実現する仕組みを解明する。これにより、本研究の目的を達成する。

(2)-② どのような計画で、何を、どこまで明らかにしようとするのか

計画(1) 単一粒子時間分解蛍光スペクトル測定系の構築(採用前～1年目)

超複合体のエネルギー移動を捉えるために、単一粒子レベルで時間分解蛍光スペクトルを取得できる光学系を構築する。ここで、従来の分光器計測では1粒子感度の実現が難しいため、本研究では、フーリエ分光法を導入する。具体的には、図4Aのようにパルスレーザーで試料を励起し、放出された蛍光を干渉計に通してから検出する。干渉計内で光路差 x を走査しながら時間相関単一光子計測器(TCSPC)で蛍光寿命 τ を測定し、 x と τ の時系列データ(図4A右上)を取得する。この2列データから図4Bのように寿命ごとの干渉信号が得られ、これをフーリエ変換することで図4Cのような時間分解蛍光スペクトルが取得できる。ここでさらに感度を向上させるため、光路差を高速に走査できるシェイクステージを導入する。高速スキャン(最大20Hz)で積算回数を増やし、信号雑音比を向上させる。この新型光学系を、申請者がこれまでに開発してきた高感度共焦点顕微鏡に組み込んで、単一粒子レベルの時間分解蛍光スペクトル測定を実現する。

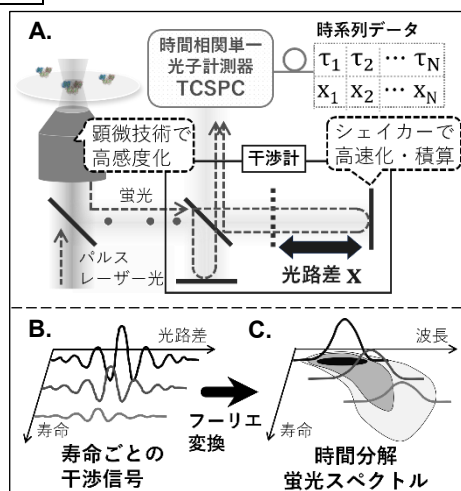


図4. 単一粒子時間分解蛍光スペクトル分光法の概念図

計画(2) 時間分解蛍光スペクトルの時間相関解析法の開発(2年目)

次に、図5Aのように構造状態間の遷移速度 k および自由エネルギー差 ΔG を定量する。ここで、各構造状態は異なる時間分解蛍光スペクトルとして観測される。そこで、図4Aで取得した時系列データから、時間分解蛍光スペクトルの時間的な揺らぎを反映する相関関数を求める(図5B)。次に、適切な自由エネルギー曲面を反映したモデル関数を用い、実験で得られた相関関数をフィットする。これにより状態間の遷移速度 k が求まり、正反応と逆反応を考慮することで自由エネルギー差 ΔG を明らかにできる。モンテカルロシミュレーションで生成した疑似データを使って、プログラムの検査とバグ修正を行う。フィッティング関数の変数が多く、収束が問題になり得るため、最大エントロピー法などの統計学的手法を用いて慎

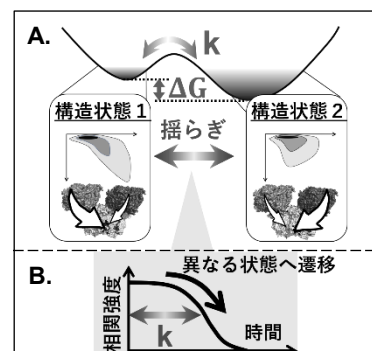


図5. 時間分解蛍光スペクトルの時間相関

重に解析する。実験で得られる時系列データのデータサイズは数 GB 以上を想定しているため、高度な数値処理計算能力を持つ MATLAB ソフトウェアで解析する。

計画(3) 緑色硫黄細菌の 2FMO-RC 超複合体の構造揺らぎとエネルギー移動の相関解析 (3 年目)

計画(1)(2)で確立した手法を用いて、光合成生物の中でも最も光吸収能力が高い緑色硫黄細菌の光合成系を測定する。緑色硫黄細菌の光合成系では、図6のように反応中心タンパク質 RC に2つの光捕集タンパク質 FMO が結合して、2FMO-RC 超複合体を形成しており、励起エネルギーはどちらか一方の FMO を通って RC へと伝達される。2FMO-RC の1粒子測定で得られた時系列データの相関解析から、FMO の構造状態間の遷移速度 k と自由エネルギー差 ΔG を計算する(図5A)。さらに各構造状態におけるエネルギー移動の速度と経路を求める。解析結果から、以下のように様々なモデル(図7)を検証できる。

モデル1：状態が安定で移動速度が常に大きい。構造を安定化させて色素分子を固定し、系を最適化している。

モデル2：2つの FMO が RC に等価に結合せず、独立に制御される。一方の FMO は構造を安定化し、常時エネルギー移動経路として機能する。もう一方の FMO は揺らぎで速度が変化し、補助経路の役割を果たす。

モデル3：2つの FMO が相関する。揺らぎにより、一方のエネルギー移動速度が小さい時、他方の速度が大きくなりバランスをとるように調整される。移動経路のスイッチ機構を保持している。

これら以外にも様々なモデルが考えられるが、以上のような議論を通して超複合体が揺らぎの中でどのようなエネルギー曲面を選択して安定で高効率なエネルギー移動を実現しているかを明らかにする。

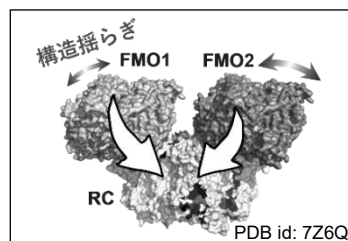


図6. 緑色硫黄細菌の光合成光捕集を担うタンパク質超複合体

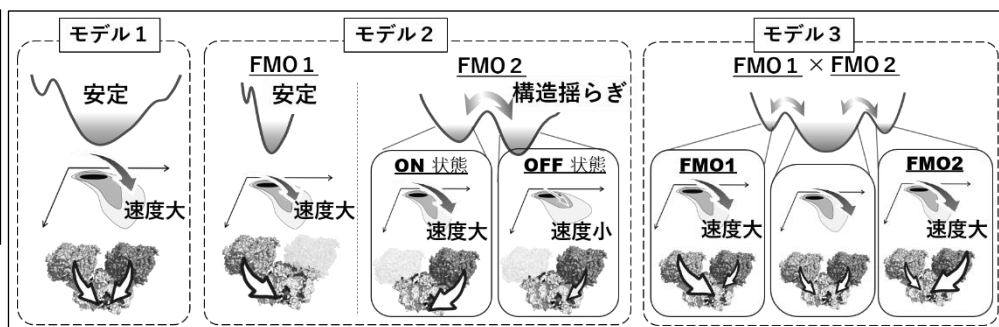


図7. 構造揺らぎとエネルギー移動の相互関係を表す3つのモデル概要図

(2)-③ 研究の特色・独創的な点

本研究の独創性 これまでも光合成タンパク質の構造揺らぎは、色素分子の励起エネルギー準位の揺らぎとしてしばしば観測されてきた(例えば[PNAS 2009, 106, 11857])。しかし、構造揺らぎとエネルギー移動を1度に定量評価した例はなく、その技術的困難さや手法的限界から、2つの現象の関係を直接的に解明した実験はこれまでになかった。本研究では、高度な顕微分光技術と多段階の解析操作を複合し、①単一粒子レベルで時間分解蛍光スペクトルの②時間相関を解析できる新たな分光手法を確立することで、これまでの不可能を可能にする。これは申請者の物理・生物・計算科学に跨る幅広い知識・関心と検出感度を極限まで高められる高度な光学技術によって初めて実現できる独創的な試みである。

予想される学術的・社会的インパクト 超複合体での安定・高効率なエネルギー移動機構の解明は、現在の光合成研究の中心課題である[AoB Plants 2020, 126, 511]。これまでに、様々な光合成生物で超複合体の形成が確認され、安定・高効率なエネルギー移動も観測されてきた。一方で、その安定性や高効率性は生物種ごとの個別的理解に留まり、超複合体に通底する普遍的な仕組みは解明されていない。本研究は、生体タンパク質が持つ一般的な性質である構造揺らぎに注目し、この現状を打破することで、光合成研究のレベルを「個別的理解」から「普遍的理解」へ押し上げるものである。さらに本研究は、普遍的な構造揺らぎの機能的な側面に光を当てるものであり、そのインパクトは光合成研究に留まらず、生命科学全般に広く波及すると期待できる。

(2)-④ 申請者が担当する部分 装置や解析プログラムの開発、試料の測定、解析まで、試料の精製以外の全てを申請者が担当する。2FMO-RC 超複合体の精製は共同研究者である中央大学の浅井智広氏と共同で進める。

(2)-⑤ 異なる研究機関において研究に従事することを計画しているか 計画なし。

3. 人権の保護及び法令等の遵守への対応 本項目は1頁に収めてください。様式の変更・追加は不可。

本欄には、「2. 研究計画」を遂行するにあたって、相手方の同意・協力を必要とする研究、個人情報の取り扱いの配慮を必要とする研究、生命倫理・安全対策に対する取組を必要とする研究や安全保障貿易管理を必要とする研究など指針・法令等（国際共同研究を行う国・地域の指針・法令等を含む）に基づく手続が必要な研究が含まれている場合、講じる対策と措置を記入してください。

例えば、個人情報を伴うアンケート調査・インタビュー調査、行動調査（個人履歴・映像を含む）、国内外の文化遺産の調査等、提供を受けた試料の使用、侵襲性を伴う研究、ヒト遺伝子解析研究、遺伝子組換え実験、動物実験、機微技術に関わる研究など、研究機関内外の情報委員会や倫理委員会等における承認手続が必要となる調査・研究・実験などが対象となりますので手続の状況も具体的に記入してください。

なお、該当しない場合には、その旨記入してください。

■ 相手方の同意・協力

本研究は、実験・解析ともに、所属研究室内のみで行われるため、相手方の同意・協力を必要とする研究ではない。

■ 個人情報の取り扱いの配慮

本研究において、個人情報を取り扱う予定はしていない。

■ 生命倫理・安全対策に対する取り組み

本研究では、遺伝子組み換え実験などの、研究機関内外の情報委員会や倫理委員会などにおける承認手続きが含まれる研究を行うことは予定しておらず、特別な生命倫理・安全対策に対する取り組みを行う予定はない。

4. 【研究遂行力の自己分析】 各事項の字数制限はありませんが、全体で2頁に収めてください。様式の変更・追加は不可。

本申請書記載の研究計画を含め、当該分野における(1)「研究に関する自身の強み」及び(2)「今後研究者として更なる発展のため必要と考えている要素」のそれぞれについて、これまで携わった研究活動における経験などを踏まえ、具体的に記入してください。

(1) 研究に関する自身の強み

研究における主体性

申請者は研究の中で、新たな知識を貪欲に吸収し実践することで主体性を発揮してきた。研究手法の基礎である単一粒子顕微分光法を習得するため、高 N.A. 対物レンズの調整技術や単一光子検出器のデータ取得技術などの高度な光学技術を実践してきた。朝から晩まで毎日のように試行錯誤を繰り返し、研究室に配属して5か月で、単一分子の蛍光スペクトル・蛍光寿命の同時測定を成功させ、学会で発表した^{成果3}。また、修士1年の8月から自身の知見を広げるため、生体タンパク質の分子動力学(MD)計算技術を身につけた。実際にスパコンを用いて緑色硫黄細菌の CsmA タンパク質のダイナミクス計算を実行し、本研究課題にも活用できる実用的な研究手法を習得できた。

問題解決力、発想力

申請者は、困難をもたらす因子を素早く洗い出し、1つずつ検証することで多くの問題を解決してきた。例えば、単一分子の吸光度測定を行った際、実験当初は原因不明のノイズで吸光度を定量できなかった。そこで、考える因子(レーザー強度の安定性や建物の振動など)を予測し、対照実験で1つずつ丁寧に検証することで、原因が試料溶媒による光散乱だと突き止めた。そこで、溶媒濃度を下げて光散乱を抑制することで、通常の吸光度計より約 10^3 倍も高い感度での測定に成功した。さらに、光捕集タンパク質を模倣した人工色素会合体の光物性評価の研究では、普通の光学イメージングでは定量できない回折限界以下の極小分子のサイズを、色素数に比例する物理量である吸光度から見積もれることに気が付いた。これを利用し、サイズの小さい分子ほど蛍光量子収率が大きい、という新たな光物性を明らかにした^{成果4,6}。

知識の幅・深さ、技量

光合成現象を理解するには物理学・化学・生物学の知識から、現象を観測するための分光・計算科学、解析のための数理統計学まで、幅広い知識が要求される。申請者は学部時代から分野の垣根を越えて、様々な学問を吸収することに努力を惜しまなかった。

学業に関して、学部1年次から有志を集めて量子力学や統計物理学などの自主ゼミを行い、伝統的な教科書を通じてエネルギー移動や電子移動などの基礎となる量子散逸現象について学び、深い洞察力を鍛えた。学部4年次にはMD計算を用い、ファンデルワールス力で相互作用する古典多体系の相分離現象を研究した。C言語で0からプログラムを構築することで、基礎的な計算機能力を身につけ、これまで注目されてこなかった粒子間の相互作用を計算する最大距離(カットオフ)というミクロな物理量が、マクロ現象である相分離に決定的に重要であることを明らかにした。この研究で得られた経験は、その後の研究会での理論研究者との闊達な議論に役立っている^{成果1,2,5}。また、有機半導体の研究室セミナーに毎週参加し、分子スケールで量子現象を記述する化学的アプローチも身につけた。大学院では、緑色硫黄細菌の精製を行っている共同研究者との議論で、精製過程に生じる不純物の除去に申請者の手法が有効であることを提案するなど、研究を通じて生化学を始めとする生物学全般の知識を蓄えている。

研究手法に関しても、超複合体のエネルギー移動機序の解明に向けて独自の共焦点顕微鏡を開発してきた。学部研究で培ったプログラミング能力を応用することで、電動アクチュエータを用いたレーザー走査のためのハードウェア制御や、畳み込み演算を含めたフィッティング解析などのソフトウェア解析を達成した。本研究過程の共焦点顕微鏡部分は既に完成しており、理論限界の回折限界空間分解能を実現した。緑色硫黄細菌の光捕集アンテナであるクロロソーム粒子の蛍光イメージングにも成功している。

コミュニケーション能力

申請者は学部時代、運営していた自主ゼミサークルで勉強発表会を自ら企画し、年に2度、毎回20人程度の専門内外の学生と闊達に議論することで、あらゆる階層に対応できる科学コミュニケーション能力を身に付けてきた。物理学会の発表では、理論研究者と議論する中で、測定した蛍光スペクトルの特徴的なピークを指摘された。その後、そのピークを詳しく調べることで分子内の独立な蛍光体の存在を明らかにでき、成果4に繋がった。

プレゼンテーション力

これまで国内学会における3件の口頭発表、2件のポスター発表を通じてプレゼンテーションの経験を積んでき

(研究遂行力の自己分析の続き)

た。学会では他の人の優れた発表から、その論理構成やポスターの魅せ方などの技術も学んだ。その結果、修士論文の中間発表会では優秀ポスター賞を頂くなど^{成果6}、優れたプレゼンテーション能力を有している。

その他の能力

申請者は国際経験を積むため、学部2年次にペンシルベニア州立大学への交換留学を予定していた。留学のために英語を勉強しTOEFL iBTのスコアを62から79に上げた。コロナパンデミックによって交換留学は中止となったが、コロナ渦でも勉強を続け、大学4年次にはTOEFL ITP 604 (TOEIC 900点相当)という英語での日常的・学術的コミュニケーションに全く問題がないレベルまで上昇させることができた。このように、1つの物事をこつこつと長く取り組み上達させることができる、研究者に必須の能力を有している。

成果-国内学会・シンポジウムにおける発表(全て査読無し)

1. 増田真之介, 揺らぎ分解分光技術、極低温顕微技術の確立, 第2回量子地球生命科学研究会, 滋賀, 2023年4月. (口頭発表)
2. 増田真之介, 相関解析法を用いたタンパク質超複合体における揺らぎの定量化, 第一回 cogito ergo summer, 長野, 2023年9月. (口頭発表)
3. 増田真之介, 新井峻, 石井辰磨, 松原翔吾, 近藤徹, リング型色素会合体の一粒子分光解析から見る構造と光物性の相関関係, 第79回日本物理学会年次大会, 宮城, 2023年9月. (ポスター発表)
4. 増田真之介, 新井峻, 石井辰磨, 松原翔吾, 近藤徹, Photophysical properties of ring-shaped self-aggregates of chlorophyll molecule at one particle level, 第61回生物物理学会年会, 愛知, 2023年11月. (ポスター発表)
5. 増田真之介, 揺らぎ分解分光法による光合成タンパク質の解析, 第3回量子地球生命科学研究会, 兵庫, 2024年4月. (口頭発表)

成果-受賞

6. 増田真之介, 東京工業大学「修士論文計画論第二」中間発表会 優秀ポスター賞 受賞, 2023年5月

(2) 今後研究者として更なる発展のため必要と考えている要素

申請者は以下に示す3つの要素が今後さらなる発展のために必要だと考えている。

要素1: 傑出した新手法を開発するための技術力

装置を開発するとき、レーザー光源や光学部品、データ集録ボードや計算機など、様々な部品の性質をよく理解して統合する必要がある。申請者はこれまで、装置の部品の特性を1つずつ自分で評価することで、ナノメートルスケールでの空間制御を行う実験装置や、最適な計測制御システムを構築してきた。さらに今後は、フーリエ分光法を達成するための単一光子を自己干渉させる光学アライメント技術など、より高度な実験技術が求められる。

要素2: 傑出した実験結果を抽出するデータ解析を含めた数値計算技術

申請者はこれまで、データ解析のために畳み込み演算や最小二乗法などの数値計算コードを実装してきた。本研究課題で取り扱う大量の時系列データから情報を抽出するには、更なる解析能力の向上が必須だと感じている。何層ものデータ処理を高速に行うには、高速フーリエ変換や最大エントロピー法などの最適なアルゴリズムの実装が不可欠である。また、数百粒子のデータを効率よく解析するため、学部研究で培った OpenMP による並列計算技術を応用したり、GPU プログラミング技術を習得する必要がある。解析の高速化・簡便化は知的作業時間の確保のためだけでなく、自ら開発した手法の有用性を示し、広く普及させるためにも必須である。

要素3: 国際的なコラボレーションを目標とした成果の表現能力

今後より革新的な研究成果を生み出すために、国際的な場で自分の研究成果や研究のビジョンを周知し共有する必要がある。そのためにまず、国際学会での発表経験や論文の執筆経験を通して、研究成果を表現する能力および技術を鍛える必要がある。修士論文の中間発表では審査員に外国人研究者が含まれていたため、急遽英語で発表を行ったが、英会話自体に苦手意識はなく、また、シンプルかつロジカルに伝えることを意識した結果、優秀ポスター賞を頂いた。実際に世界で活躍する研究者に頂いたこの評価を励みに、国際学会での発表や論文執筆を通して国際的に開かれた場での表現能力をさらに高めていく。そのための目標として、2025年7月に米国で開催される光合成のゴードン国際会議に参加し、世界の専門家に対して自分の研究成果の効果的な発表能力を身につける。

5. 【目指す研究者像等】 各事項の字数制限はありませんが、全体で1頁に収めてください。様式の変更・追加は不可

日本学術振興会特別研究員制度は、我が国の学術研究の将来を担う創造性に富んだ研究者の養成・確保に資することを目的としています。この目的に鑑み、(1)「目指す研究者像」、(2)「目指す研究者像に向けて特別研究員の採用期間中に行う研究活動の位置づけ」を記入してください。

(1) 目指す研究者像 ※目指す研究者像に向けて身に付けるべき資質も含め記入してください。

申請者は、独自手法を開発することで、未解明な生命現象の探求や産業の活性化に貢献できる研究者を目指す。理由は、「複雑かつ階層的な光合成現象の全体像に迫るため。」と「自身が開発した最先端の技術で産業を発展させるため。」という2つである。

1つ目の理由に関して、学部研究では古典多体系を扱い、ミクロな粒子が運動方程式に従うことでマクロな相分離現象が現れるという物理現象の階層性の美しさに驚嘆した。そんな中で、より複雑で階層的な光合成現象に興味を持った。光合成現象は、フェムト秒のエネルギー移動からペタ秒の進化までの時間的階層と、タンパク質から細胞、生態系までの空間的階層が、相互に関係して総体をなしている。申請者はこの複雑かつ多層的な現象を解明するために、数理・光学技術を駆使し独自の装置で究明している近藤徹講師の研究室に所属した。修士課程では、単一分子レベルでの蛍光スペクトル・蛍光寿命の同時測定技術確立することで、サブミクロンサイズの人工色素会合体の光物性がオングストロームスケールの局所的な欠陥に依存する、という階層横断的な性質を明らかにした。そこで、複雑かつ多層的な光合成現象でも同様に、各素反応および階層間の相互関係を解明できるような複数の測定技術を複合した実験装置を開発することで、その全体像を究明できると考え、上記の研究者像を目指すに至った。

2つ目に関して、申請者は修士1年次に参加した先端技術の展示会や、産学連携事業を標榜する企業との交流会を通じて、積極的に企業研究者や技術者と交流してきた。そこで、高い技術力を持つメーカー企業が、自社の最先端技術の活用法を考えあぐねていることを知った。さらに、昨今の大規模投資先として、公共インフラの整備や社会的に要請される検査などの事前に経済規模が予測可能な領域のみを選定し、大胆な新市場の開拓には及び腰である現状に驚いた。そこで、先端技術の新しい活用例を数多く提示することで、新市場での成長可能性を示し、結果的に日本の科学技術産業をさらに活性化できるのではないか、と考えた。そのためには学術研究が先導し、最先端技術を応用する必要がある。これを果たすため、上記の研究者像を目指すに至った。

このような研究者像を目指すに際して、「装置開発技術と数値計算技術の両面の高い専門知識」と「学術界・産業界の垣根を超えるための卓越したコミュニケーション力」の2つの資質を身につけるべきだと考えている。1つ目の資質に関して、複合的な装置を開発するには、装置のサイズや制御システムの複雑化など装置的制約を克服する必要がある。その際、複雑な信号処理を可能にする数値計算技術は強力な解決策となる。また、より複合的な手法になるほど他分野の専門家や産業界との密接な連携やビジョンの共有が重要になる。そのためには、研究成果が持つ将来性や潜在的な可能性を的確に伝える必要がある。これを遂行するために2つ目の資質が必要である。

(2) 上記の「目指す研究者像」に向けて、特別研究員の採用期間中に行う研究活動の位置づけ

申請者は、**4(2)**に掲げた今後研究者としてさらなる発展のため必要と考えている3つの要素を習得し、前節で掲げた研究者像に近づく期間として本研究活動を位置づける。要素1で挙げた**新手法を開発するための技術力**に関しては、開発した装置の調整・改良を重ね、論文から得たアイデア（複屈折素子を用いたフーリエ分光）など日ごろから新たな挑戦を行う。さらに目指す研究者像に近づくべく、今夏から量子光学の専門家である電気通信大学・清水亮介氏の研究室を定期的に訪問する予定であり、量子光源の干渉技術の技術指導を仰ぐ。要素2で上げた**数値計算技術**に関しては、物理のバックグラウンドを活かして分子シミュレーション学会などに参加し、最先端の手法・技術を学び、装置開発・解析へ応用する。また、本研究課題の各段階で得られた研究成果を国際学会で積極的に発表し、世界中の生命科学分野の研究者との関連な議論を通して要素3の**成果の表現能力**を身につける。

さらに本研究計画には盛り込んでいないが、創薬ベンチャーの研究者である小井川浩之氏との共同研究を通して、タンパク質の構造揺らぎの定量測定技術を創薬分野に発展させ、揺らぎを考慮したドラッグデザインの可能性を探るなど、自身の実現した最先端技術の社会課題への応用に挑戦する。以上のように、最先端の技術を駆使した新規手法を開拓し、光合成現象の学理を究明することを通して、社会の活性につながられる研究者になるための3年間として本研究を位置づける。