

事後評価報告書（日英）

1. 研究課題名：ナノ空間に配列させた光合成色素蛋白超分子複合体間における超高速励起エネルギー移動過程の実時間動画撮影技術の確立

研究代表者名：

2-1. 日本側研究代表者：

橋本 秀樹（大阪市立大学 大学院理学研究科 教授）

2-2. 英国側研究代表者：

Richard John Cogdell（グラスゴー大学 化学・分子生物学科 教授）

総合評価：（秀）

3. 研究交流実施内容及び成果：

本研究交流では、英国側の研究者が保有する高度な生化学試料調整技術を、日本側研究者が保有する時間分解顕微分光技術と、研究交流を通して融合することにより、ナノ空間実時間顕微動画撮影技術を確立することを目的とする。

研究交流実施内容としては、最低でも1ヶ月おきに、日本側研究者が英国側研究者を訪問する、英国側研究者が日本側研究者を訪問する、あるいは他国で開催される国際会議・国際研究集会に双方の研究グループに所属する研究者が参加するなどを実現し、常にフェイス・トゥ・フェイスで意見交換を行いながら、緊密な共同研究を実施した。

日本側研究チームは、日本側若手研究者を二年度、三年度において1-2ヶ月の期間、英国側研究者の研究室（グラスゴー大学コグデル研究室、シェフィールド大学ハンター研究室）に派遣し、光合成色素蛋白複合体の単離・精製・結晶化などの試料調製や遺伝子改変（分子生物学的手法）により構造を改変した色素蛋白複合体の試料調製や脂質二重層膜中に色素蛋白複合体を二次元配列させる手法などの、貴重な生化学試料調製技術を英国側研究グループより伝授された。

研究成果としては以下のものが挙げられる。

(1) カロテノイド及びバクテリオクロロフィルのサブ20フェムト秒コヒーレント分光

光合成系における超高速・高効率エネルギー伝達とコヒーレンスとの関係を解明するために、光合成色素カロテノイドとバクテリオクロロフィルのサブ20フェムト秒縮退4光波混合実験を行った。世界最高水準の時間分解能を持つ分光計測技術の確立と、第一原理にもとづく理論シミュレーションを、世界にさきがけて達成した。

(2) 光合成膜蛋白質の脂質二重層膜への再構築・二次元結晶化とその光機能

再構築した天然にはありえない組み合わせのヘテロな光合成膜蛋白質を持った人工光合成膜の作製と、電子顕微鏡観測を用いた配列様式の決定を達成した。さらに、蛍光励起分光法により、バクテリオクロロフィル a を持つ LH2 複合体からバクテリオクロロフィル b を持つコア複合体へのエネルギー移動が可能であることを見だし、その効率を定量決定

した。

(3) LH1 アンテナ色素蛋白複合体の再構築と電場変調吸収分光

異なる共役鎖長を持つ天然カロテノイドと、LH1 由来のバクテリオクロフィル含有モノマー蛋白サブユニットを用いて、世界最高水準の LH1 複合体の再構築技術を確立した。得られた複合体に対して、Stark 分光測定を適用することにより、色素分子周辺の静電環境を定量した。さらに、分子軌道計算を用いることで、カロテノイド分子の構造を推定した。

(4) 光合成膜蛋白質の結晶化及び X 線結晶構造回折

色素構造を改変した光合成光反応中心複合体の単結晶 X 線構造解析を達成した。事実上、世界最高分解能での結晶構造解析データの取得に成功した。

(5) 時間分解顕微分光計測装置の開発

世界最高水準の時間分解計測装置と光学顕微鏡とを組み合わせることで、実空間・実時間分光解析を達成するための装置開発を行い、プロトタイプを制作した。

(6) 研究成果は国際的に権威のある学術雑誌に多数の論文として発表した。

研究成果の今後期待される効果であるが、色素構造およびアミノ酸配列を、積極的に改変した、人工色素タンパク複合体を創成することにより、天然体には無い様々な物性を選択的に付加することが可能となる。これらを単体で、あるいは脂質二重層膜に自己集積して分光測定を行うことにより、天然の色素蛋白複合体では構造上の制限から解析不可能な機能の解明が狙える。同時に、ナノスケールで改変した構造がタンパク全体の機能に与える影響のデータを蓄積し、今まで観測されてきた全ての現象を統括的に解釈できる全く新しい理論を組み立てる礎を作っていくことが可能となる。超高速（サブ 20 フェムト秒）コヒーレント分光計測と時間分解顕微分光装置を駆使することにより、超高速・高効率なエネルギー伝達機構を解明するために本質的である、エネルギー緩和及び位相緩和の実時間計測が可能となる。以上の今後期待される成果は、新規光エネルギー変換素子の開発に直結するであろうが、それだけに止まらず、光産業分野において重要な課題となっている、地球資源・環境に適応した太陽光エネルギーの有効利用に関して一定の指針を提示すると共に、耐久性は無いが安価で交換でき、有害廃棄物に全くならないリプレイサブル&エコロジカルなエネルギー供給源へのアプローチという、既成概念を打ち破る新たな社会的潮流を生み出すきっかけとなると期待される。

4. 事後評価結果

4-1. 総合評価

この2国間研究交流事業によって、生化学（生物物理学）と物性物理のような全く方法論も考え方も大きく離れている研究グループ間の今後の共同研究の方向性がこのように短期間に確立されたことは高く評価されるべきである。また3年間で20報にも上る日英共同研究論文が発表されたことは、研究交流が極めて活発に推進されたことを示すものである。また、最終目標である「ナノ空間実時間顕微動画撮影技術」の確立はプロトタイプの製作にとどまったが、3年という研究期間を考慮すれば、本事業の評価に影響するものではない。本事業はこのような二国間共同事業の有効性を明確に示す典型例である。

4-2. 研究交流の有効性

英国の光合成色素蛋白質の構造機能研究グループと日本の時間分解顕微分光技術開発グループとの研究交流を通じて「ナノ空間実時間顕微動画撮影技術」を確立するという研究課題は「新しい知の創造/画期的な科学技術の進展」を目指す本推進事業として誠に相応しいものである。英国からは光合成色素蛋白質の精製結晶化技術、リン脂質二重層膜系への色素蛋白質複合体の再構成技術等が導入された。一方英国の研究グループは日本での物性物理を基本とする研究グループとの緊密な交流を通じて、光合成初期過程研究に大きく寄与することが期待出来る新しい視点を得た。また、相手国共同研究者との共著論文が多数発表されていることも二国間交流の活発さを示している。3年という短期間に実空間・実時間分解顕微分光装置のプロトタイプが制作されたことは本事業の最も重要な成果と言えよう。ただ、どの程度のプロトタイプであるか（どのような進歩があったのか）に関する具体的記述があれば、最終成果報告書はさらに印象深いものになったと推定される。

このように全く異なる分野の研究グループの一方から他方へ技術習得や共同研究推進のために派遣されることによってどちらのグループの研究者にとっても得難い学問的刺激を受けることができたことは明らかである。さらに、若手研究者を筆頭著者とする論文発表や研究発表が行われていることから、意見交換を含めた実質的な共同研究が行われたと考えられる。この研究交流が日本側研究室における博士課程院生の海外留学への意識を高め、海外特別研究員制度の利用につながったことは評価できる。

今回の二国間共同研究推進事業により、このような共同研究が英国の研究グループ、特に Cogdell グループは光合成の初期過程の本質的理解に大きく貢献することを深く認識したであろうし、日本側研究グループにとっては基礎科学的進展に加えて、太陽エネルギーの有効利用という応用研究への寄与が大いに期待されることを深く認識したと考えられる。また、共同での学会発表やオリジナル論文の数が十分にあることから、この共同研究が実質的であることが想像される。ただ、トップジャーナルへのオリジナル論文の発表など、さらなる研究の質の発展がはかられることを期待する。英国側研究者を研究代表として HFSPPO への共同申請や、日本側研究者の CREST 申請（採択）は、この共同研究の発展性を表していると評価できる。

4-3. 当初目標の達成度

研究交流実績にも明らかなように、各年度とも研究実施計画の通りに、活発な研究交流が行われた。実際最低でも一ヶ月おきに面談の機会を作って意見交換が行われた。さらにインターネット通話等によりほとんど同じ研究室のような状況が実現されたとのことである。また、英国からの試料提供体制も確立されている。共同での学会発表やオリジナル論文の発表が研究期間内に継続的に行われていることから、実施体制は適切であったと考えられる。基礎研究の枠にとらわれず、応用研究も視野にいたった広範な研究の展開が期待される。

相互派遣は計画以上に頻繁に効率よく行われた。国際ワークショップも計画通り本研究期間中に2回開催され、それぞれ3日間にわたって活発な討論が行われた。研究交流のために多くの予算が費やされたことは、本事業の趣旨にかなうと考えられる。