

二国間交流事業 共同研究報告書

令和4年4月7日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[代表者所属機関・部局]
神戸大学・バイオシグナル総合研究センター
[職・氏名]
准教授・森垣憲一
[課題番号]
JPJSBP120195707

1. 事業名 相手国: 英国 (振興会対応機関: The Royal Society) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) 光合成分子機構を再現する人工膜の開発

(英文) Model membrane platforms for light-harvesting

3. 共同研究全実施期間 2019年4月1日 ~ 2022年3月31日 (3年0ヶ月)

4. 相手国代表者(所属機関・職・氏名【全て英文】)

University of Leeds・Associate Professor・Peter Adams

5. 委託費総額(返還額を除く)

本事業により執行した委託費総額		3,770,002 円
内訳	1年度目執行経費	1,870,001 円
	2年度目執行経費	1,900,001 円
	3年度目執行経費	円

6. 共同研究全実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

日本側参加者等	4名
相手国側参加者等	5名

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

	派遣		受入
	相手国	第三国	
1年度目	2	0	2(0)
2年度目	0	0	0(0)
3年度目	—	—	—(—)
4年度目	—	—	—(—)

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣: 本委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。

受入: 相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は本委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流実績の概要・成果等

(1)研究交流実績概要(全期間を通じた研究交流の目的・研究交流計画の実施状況等)

本研究は、神戸大学グループが持つ人工膜作製技術と、リーズ大学グループが持つ光合成関連分子の再構成・ナノ計測技術を相補的に組み合わせ、ガラス基板表面に光合成電子伝達系を再構成し、光合成関連分子の動的分布、機能を定量的に解析する技術を開発した。2019 年には 7 月から 8 月にかけて、共同研究代表者と修士課程学生(米田)がリーズ大学に滞在し打ち合わせを行った。その際に、神戸大学において作製したパターン化人工膜を持参し、チラコイド膜の組み込みおよびナノ計測の予備検討を試みた。修士課程学生(米田)は3週間にわたってリーズ大学に滞在し作製し、チラコイド膜の蛍光寿命測定、原子間力顕微鏡観察などのナノ計測技術を習得した。2019 年 11 月には、リーズ大学から Prof. Stephen Evans, Mr. Ashley Hancock(博士課程学生)が神戸大学を訪問し、共同研究の進め方やネットワークの構築について打ち合わせを行った。Mr. Hancock は、約 2 週間神戸大学に滞在して、パターン化人工膜作製技術を習得した。2020 年度には新型コロナウイルスのために人的な交流ができず、この状況は研究期間を延長した 2021 年度においても改善しなかったため、その後、神戸大学とリーズ大学の間の人的な交流はできなかった。そのため、電子メールおよびオンラインミーティングでの定期的な意見交換を行い研究交流を継続した。神戸大学からリーズ大学に試料(パターン化人工膜およびチラコイド膜)を定期的に国際郵便で送付して、リーズ大学においてハイブリッド膜のナノ計測を行った。そして、ガラス基板表面に構築された人工チラコイド膜の物性や機能を詳細に解析することに成功した。この研究成果は、1 報が既に国際共著論文として発表された(*Small* **17**, 2021, 2006608)。また、現在論文 1 報が投稿準備中であり、さらに 2 報の論文執筆が準備されている。

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

植物の光合成初期反応の場であるチラコイド膜は、多様な膜タンパク質群が 2 次元膜に配置された超分子系である。2 次元膜における動的な分子分布や超分子形成は、光合成機能の調節に本質的に重要でありながら解析が困難であり充分には理解されていない。研究代表者は近年、固体基板表面に構築したパターン化人工膜にチラコイド膜を再構成し電子伝達活性を計測することに成功した。一方、リーズ大学の Dr. Peter Adams らは原子間力顕微鏡(AFM)、膜内電気泳動などを用いた膜分子のナノ計測・ナノ操作技術において世界を先導している。本研究は、世界的にも研究代表者のみが持つチラコイド膜のパターン化作製技術とリーズ大学が持つナノ計測・ナノ操作技術を組み合わせ、パターン化人工膜に再構成された人工チラコイド膜における分子分布を詳細に解析することに成功した(*Small* **17**, 2021, 2006608、他に論文 3 報準備中)。この成果により今後、2 次元膜における動的な分子分布が光合成機能の調節にどのような影響を与えるかについて、定量的に解析することが可能となり、これまでブラックボックスであったチラコイド膜での動的な 2 次元分子分布による光合成機能調節を人工膜を用いて解析する新規手法論を実現できると期待される。

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学術交流することによって得られた成果)

本研究は、神戸大学グループが持つ人工膜作製技術と、リーズ大学グループが持つ光合成関連分子の再構成・ナノ計測技術を相補的に組み合わせることによってはじめて成り立つものである。神戸大学とリーズ大学の人的な交流は、新型コロナウイルスのために 2019 年度に限られたが、電子メールおよびオンラインミーティングでの定期的な意見交換を行い研究交流を継続し、神戸大学からリーズ大学に試料(パターン化人工膜およびチラコイド膜)を定期的に国際郵便で送付して、リーズ大学においてハイブリッド膜のナノ計測を行った。現地での実験交流が 1 年間しかできなかったため、神戸大学グループが持つ人工膜作製技術と、リーズ大学グループが持つ光合成関連分子の再構成・ナノ計測技術を相互に移転するという当初目的は一部達成されなかったが、オンラインでのより日常的な交流を持つことができ、チラコイド膜という 2 次元膜内における分子分布が光合成機能をどのように制御するかを、分子レベルで定量的に評価する方法論を確立するという当初の目的を達成することができた。

(4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

光合成は、人類に食糧・エネルギーを供給する源泉であり、その分子機構の理解は、現代社会において極めて重要である。一方、植物における光合成は、植物細胞中の小器官(葉緑体)に内包された膜構造で行われているため、膜内における分子分布が電子・エネルギー伝達をどのように制御するかは、光合成機能に本質的に重要でありながら分子レベルでの理解が十分にできていない難問題である。本研究が目的とした、チラコイド膜における分子分布が光合成機能をどのように制御するかを分子レベルで定量的に評価する新しい方法論は、光合成機構解明を通じて栽培植物の光合成効率や光耐性を改善する技術につながり、食糧生産の増加を通じて気候変動や人口増加に直面する社会に大きく貢献できる。また、2次元膜における光合成分子の分布とその動態は、太陽光を効率的に利用できるエネルギー変換材料の設計にも重要な示唆を与えると期待される。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取り組み、成果)

本研究には、神戸大学、リーズ大学ともに若手研究者、学生が参加して、共同での実験、オンラインでの議論を重ねてきた。2019年には神戸大学の博士前期課程学生がリーズ大学に滞在して実験を進めることで海外での研究経験を積み、リーズ大学に集まっているヨーロッパ各国からの研究者との交流・意見交換を通じて、ヨーロッパに張り巡らされた研究ネットワークを実感することができた。神戸大学においても、リーズ大学から共同研究者(教員、博士課程学生)を受け入れることにより、分野融合的研究、国際化に向けたコミュニケーション能力を高めることができた。また、電子メールおよびオンラインミーティングでの定期的な意見交換を行い、神戸大学からリーズ大学に試料を定期的に国際郵便で送付することで、神戸大学の博士前期課程学生が主体的に国際共同研究を遂行する経験を持つことができた。

(6)将来発展可能性(本研究交流事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

本研究により、パターン化人工膜に再構成された人工チラコイド膜における分子分布を詳細に解析することに成功した(*Small* **17**, 2021, 2006608, 他に論文3報準備中)。この成果は今後、2次元膜における動的な分子分布が光合成機能の調節にどのような影響を与えるかについて、定量的に解析する技術につながる。そして、これまでブラックボックスであったチラコイド膜での動的な2次元分子分布による光合成機能調節を人工膜を用いて解析する新規手法論を実現できると期待される。本研究を発展させるため、研究代表者は、リーズ大学の Dr. Peter Adams、日本の共同研究者らとともに科研費・国際共同研究加速基金(国際共同研究強化(B))(2021年～2024年)を推進している。

(7)その他(上記(2)～(6)以外に得られた成果があれば記述してください)

本研究をさらに発展させる事業として、研究代表者は、リーズ大学の Dr. Peter Adams、日本の共同研究者らとともに科研費・国際共同研究加速基金(国際共同研究強化(B))(2021年～2024年)を推進している。

本事業での日英間の交流、研究成果などが評価され、Dr. Peter Adamsは期間内に University Academic Fellow から Associate Professor に昇任された。今後、Dr. Peter Adamsは英国の光合成研究において中心的な役割を果たすとともに、日英間のさらなる共同研究を行うための重要なパートナーになるものと期待される。