

二国間交流事業 共同研究報告書

令和6年4月26日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[日本側代表者所属機関・部局]
岡山大学異分野基礎科学研究所
[職・氏名]
特任教授・高橋裕一郎
[課題番号]
JPJSBP 120207714

1. 事業名 相手国: インド (振興会対応機関: DST)との共同研究

2. 研究課題名

(和文) 光合成・光化学系の光ストレス馴化機構を強化した変異株の作出と解析

(英文) Generation of photosynthetic mutants with high light tolerance

3. 共同研究実施期間 2020年 7月 1日 ~ 2024年 3月 31日 (3年9ヶ月)【延長前】 2020年 7月 1日 ~ 2022年 3月 31日 (1年9ヶ月)

4. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

University of Hyderabad, Professor, Rajagopal Subramanyam

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		1950000 円
内訳	1年度目執行経費	750000 円
	2年度目執行経費	950000 円
	3年度目執行経費	250000 円

6. 共同研究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	5名
相手国側参加者等	4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			0
2年度目			0
3年度目	2 (1)		2 (2)
4年度目			1 (0)

* 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: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)。カッコ内は委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流の概要・成果等

(1)研究交流概要(全期間を通じた研究交流の目的・実施状況)

光合成・光化学系の光ストレス馴化機構を強化した変異株の作出と解析を行うため、以下の項目に関して研究を実施した。

光化学系 I (PSI) のアンテナ(LHCI) 欠損株の解析: 緑藻クラミドモナスの PSI は 9 種類のアンテナ複合体 (LHCA1-9) を 10 コピーもつため、細胞は弱光下でも光合成的によく生育する。しかし、強光下では過剰な光を吸収してしまい光障害が生じる。そこで、大きなアンテナ複合体の構造と機能を明らかにするため、LHCA3 もしくは LHCA7 が欠損した変異株 (それぞれ Δ LHCA3 と Δ LHCA7 株) のアンテナ複合体の構造と機能を解析した。まず、それぞれの変異株の LHCI の蓄積量をウェスタン分析により調べたところ、 Δ LHCA3 株では LHCA3 のみが欠損し、その他の LHCI の蓄積は正常であった。一方、 Δ LHCA7 株では LHCA7 と LHCA3 が蓄積しなかったが、その他の LHCI の蓄積は正常であった。低温蛍光スペクトルを測定すると、この 2 つの変異株は長波長の蛍光スペクトルが短波長側にシフトしており、アンテナから PSI への励起エネルギー移動が正常でないことが分かった。以上の結果から、LHCA3 と LHCA7 はアンテナから PSI への励起エネルギー移動の効率化に重要な役割を果たしていることが示された。

光化学系 I 複合体の分子集合機構の解明: 多数のサブユニットタンパク質と光合成色素などのコファクターを含む PSI-LHCI 複合体の分子集合機構の解明は、光合成生物の光順化機構を強化するための基盤的の基礎研究である。本研究では LHCI の分子集合に cpSRP43/54-Alb3.2 複合体が必須であることを明らかにした。その結果、PSI サブ複合体と LHCI サブ複合体が分子集合の最終段階で大きな中間体を形成することが明らかにできた。cpSRP43/54-Alb3.2 複合体を改変することにより、強光環境下でも耐性を示す光合成生物を作出する道筋が立つことが可能となった。

光化学系 I から電子を受け取る ferredoxin-NADP-reductase(FNR) の過剰発現株の作出: 強光や低温下では PSI の還元側が著しく損傷を受ける。この損傷を緩和するには、PSI の還元側の電子伝達成分を強化することが重要であると考えられている。そこで、FNR は核ゲノム上の *PETH* 遺伝子にコードされているが、その cDNA (N 末のシグナルペプチドを除く) を葉緑体で過剰発現させた変異株を作出した。このとき、核にコードされた本来の FNR と区別するためその C 末に HA タグを融合させた。得られた葉緑体形質転換株の FNR-HA の蓄積量をウェスタン分析で調べると、葉緑体コードの FNR-HA は核コードの FNR の 10%以下であった。そのため、過剰発現株の光合成的生育の顕著な強光耐性は認めることはできなかった。今後はより多くの FNR を発現する株の作出を進めたい。

派遣と招へいに関しては、初年度はパンデミックのため実施できなかったが、zoom を用いたオンラインセミナー (Joint Seminar) を 3 回開催して、研究情報を交換した。

1 回目: 10 月 7 日: Yadav, Chouhan (ハイデラバード), Ozawa, Takahashi (岡山)

2 回目: 11 月 18 日: Madideddi, Pandey (ハイデラバード), Kuroda, Okegawa (岡山)

3 回目: 12 月 22 日: Sakamoto (岡山), Subramanyam (ハイデラバード)

2 年目の後半から海外渡航が解禁され、Subramanyam 教授を招へいし、研究打ち合わせを行った。また、大学院生 Mohammad Yusuf Zamal を招へいし、FNR の過剰発現株の解析の共同実験を行った。また、申請者は 2 回相手国へ派遣された。一回目は本事業の予算ではないが、ハイデラバード大学で開催された国際会議 (ICFAST-2022) に招待された。旅費は日本科学技術振興会 (JST) から支給されたが、Subramanyam 教授をはじめハイデラバード大学の若手研究者および大学院生との研究打ち合わせを行うことができた。さらに、ハイデラバード大学で開催された別の国際会議 (International Conference on Current Trends and Future Prospects of Plant Biology) に招待され、本事業の予算で

参加した。この機会でも **Subramanyam** 教授をはじめハイデラバード大学の若手研究者および大学院生との研究打ち合わせを行うことができた。

(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）

緑藻クラモドモナスをモデル生物として使用して、過酷な環境下における光合成機能の促進の基盤的研究を行い、過酷な光条件下における光合成器官の損傷抑制と修復の理解に重要な知見を得ることができた。**PSI** の大きな **LHCI** 複合体の構造と機能を明らかにし、弱光下での光合成的生育を促進するために、効率的に光を集める機構を明らかにした。一方、強光下での光阻害を抑制するために、**PSI** の還元側の電子伝達成分を強化するシステムを開発し、損傷した **PSI** を修復するために必須な分子集合装置の解明を進展させた。新たな概念として、これまでに安定であると考えられてきた **PSI** 複合体のダイナミックな側面の重要性を提案できた。

(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）

相手国の研究グループは、光合成器官の生化学的解析を得意としており、さらに過酷環境における光合成装置の損傷に関する知識が豊富である。これは我々の研究グループとは得意な分野や手法とは相補的な関係となり、相手国との交流により **PSI-LCHI** 複合体の構造と機能およびダイナミクスの研究発展に新しい展開をもたらしてくれた。また、研究期間中の前半はパンデミックにより共同研究が思ったように進めることができなかったが、**zoom** を活用したオンライン会議を開催することにより、研究情報の交換と相互理解を深めることができた。

(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）

光合成に関する基盤的基礎研究は、農業における生産性の改善や遺伝子導入による有用物質の生産に必須の知識を提供する。特に、人口増に伴う食糧不足、地球温暖化や環境汚染により引き起こされる農業生産性の低下、などを解決するのは喫緊の課題である。本研究は、これらの課題を解決する上での基盤的基礎研究を提供することを目的にしており、過酷な光環境下での光合成機能の維持に関する研究成果が得られたと言える。

(5)若手研究者養成への貢献（若手研究者養成への取組、成果）

パンデミックの影響でハイデラバード大学の若手研究者および大学院生の招聘は予定通り行かなかったが、2022年度のパンデミック終了直後に1名の大学院生の招聘を行い、共同研究を実施した。また、2023年度はインド側では予算が旅費に使えないという想定外の事態であったが、別の予算を申請して若手研究者および大学院生の9名を岡山大学へ招聘し、研究の情報交換を行った。また、パンデミック中はオンラインでの研究セミナーを開催し、岡山大学の若手研究者は研究プロジェクトの成果発表を行うなどをして、英語での研究発表や討論を経験することができた。したがって、若手研究者の国際的な環境下での研究推進の経験を積むことができた。今後の研究の国際的な展開にとって、有意義であったと言える。

(6)将来発展可能性（本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）

インドは世界最大の人口をもつ国であり、農業生産性の改善が重要な課題である。また、環境汚染なども深刻であり、そのような環境下における農業生産性の維持も喫緊の課題である。しかも、このような

課題はインドだけではなく、日本を含めた全世界における重要な課題である。本研究により、過酷な環境下において光合成機能が最適化した光合成生物を作出することに発展する可能性がある。

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

例：大学間協定の締結、他事業への展開、受賞など

部局間協定はすでに締結していた。その他は特になし。