

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K07440

研究課題名(和文) 地衣類・藻類・植物の乾燥下での超高速過剰光エネルギー散逸の分子機構解明と利用

研究課題名(英文) Mechanisms of ultra-fast excitation energy dissipation in lichens, algae, mosses and plant under drought stress and its application

研究代表者

伊藤 繁 (Itoh, Shigeru)

名古屋大学・理学研究科・名誉教授

研究者番号：40108634

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：光合成反応は太陽光エネルギーを生命に取り込む。しかし、過剰な光は、光合成系を破壊する。この回避には「非光化学的消光機構：nonphotochemical quenching mechanism：NPQ」が働き、光エネルギーを熱に変え、水の蒸散で冷却することが現在ではよく知られている。従って、乾燥下ではNPQはとまり、殆どの植物は枯死する。それにもかかわらず、乾燥耐性光合成種も多い。本研究では多様な乾燥耐性種に分布する“乾燥誘導性の過剰光エネルギー散逸機構(drought-induced NPQ; d-NPQ)”の存在を示し、その同定法、分布、機構、を確定し、利用方法を考察した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光合成生物の乾燥耐性の機構と分布の理解は、農業にとっても、光合成生物の地上進出の過程を考える上でも重要である。維管束系の出現過程の考察にも役立つ。本研究による乾燥耐性の分子機構の解明は、今後さらに遺伝子レベルでの研究に役立つ。さらに光合成分子装置上での、励起エネルギー移動過程の直接理解のために、反応中心上のクロロフィル色素間での、エネルギー移動過程を理論解析した。解明された分子構造をもとに励起子理論で検討を進め、計算機上に4種の1型反応中心の理論モデルを構築し、その分光特性、エネルギー移動過程を再現した。このモデルを利用して、色素系改変効果の理論検討を進めた。

研究成果の概要(英文)： Excess solar light absorbed into photosynthetic system is known to be dissipated to heat to prevent damages of the system by the “so called nonphotochemical quenching mechanism (NPQ)” and then the produced heat is dissipated by transpiration of water. The light stress under dry condition, therefore, cannot be avoided by the simple NPQ mechanism so that most of plants die under sunshine under drought conditions. However, some photosynthetic organisms are known to survive even under drying conditions under strong sunshine. It is due to the drought-induced NPQ mechanism (d-NPQ). We identified this mechanism and showed that a new strong energy-quencher state is formed inside photosynthetic reaction center-II of these organisms. A new “d-NPQ” mechanism became visible and detectable only after the development of picosecond fluorescence measurement analysis. We identified it in more than 50 lichens, mosses, algae, cyanobacteria and plants, and discussed its identification and usage.

研究分野：生物物理学

キーワード：光合成 乾燥耐性 励起エネルギー移動 地衣類 光傷害 励起状態 クロロフィル 光合成モデル

1. 研究開始当初の背景

植物は、過剰な光エネルギーを受けると光合成系が光障害を受け、色素系が壊され枯死する。日本の日中では、太陽光強度は、光合成系の能力に対して過剰なエネルギーをもたらす。植物は、吸収された光エネルギーの過剰部分を熱として、散逸させ蒸散系で冷やすしくみを持つことが知られている。重要なものとして、非光化学的消光(nonphotochemical quenching; NPQ)機構が知られている。強光下では NPQ 機構が発動され、光合成電子伝達反応→イオン移動→酵素反応→アンテナタンパク質の修飾による消光、がおこる。アンテナタンパク質中に、光エネルギーを熱に変換して放散する消光センター(クエンチャー)が生成され、光傷害が防止されると推定されている。

ほとんどの酸素発生型光合成生物(植物、藻類、シアノバクテリア)がもつ NPQ 機構は、昼働き、夕方には停まり、光合成系の安全管理をしている。しかし、乾燥(あるいは凍結)下では、蒸散による冷却が必要な NPQ は働かず、光はラジカルを作り出し、光合成色素系を破壊し、植物は枯死する(干害、冷害)。強い乾燥に耐える光合成生物がいることはわかっていたが、その正確な分布、耐性機構は未知であった。本研究では、乾燥や低温に強い耐性をもつ光合成生物種を広く同定し、長く不明であった乾燥下での光耐性機構(乾燥誘導-非光化学的消光:d-NPQ)を明らかにした。

2. 研究の目的

乾燥耐性の植物中に、乾燥で誘導される「過剰光エネルギー散逸機構 = d-NQP」を調べ、その分子機構を解明する。広範な乾燥耐性光合成生物(地衣類:菌類と藻類の共生体、コケ、維管束植物、藻類、シアノバクテリア)を対象に、d-NQP 現象の分布、特製を探索する。

新たな研究連携のもと、同定や扱いが困難であった「典型的な d-NQP 生物」である共生型の光合成生物 = 地衣類を主対象に、乾燥条件下での光合成反応解析方法を開発する。これを利用して、同様な乾燥耐性をもつと期待される一部の乾燥耐性高等植物、コケ、藻類、シアノバクテリアの乾燥耐性光合成の研究をすすめる。

地衣類は非植物の菌類の細胞中に光合成をする藻類、シアノバクテリアが細胞内共生する共生生物であり、植物学の対象としては異端で、専門家も少ない。樹木や壁などに付着し、乾燥すれば可逆的に光合成をとめる。しかし、地衣類の光合成系はほとんど研究されていなかった。これを主に用いて乾燥耐性光合成の分子機構、発動条件、多様性を明らかにする。さらに、非地衣類の光合成研究や、新型光合成植物の作成にもこの知識を活用できる。

3. 研究の方法

当時大学院生であった小村理行氏が偶然に地衣類光合成系のクロロフィル蛍光寿命を測定し、他生物で観測されたことのない異常な短寿命を観測したことがこの研究の端緒となった。そこで、新型光合成系の研究で協力していた岩崎郁子氏(当時秋田県立大)に、地衣分類学者の山本好和氏(当時秋田県立大)を紹介していただき、地衣類の網羅的採取を共同で行った。採取した地衣体の半分は山本氏が分類同定に使用し、残り半分は当方の実験室に持ち帰り、超高速蛍光寿命測定を行うという方法で日本各地の地衣類試料の測定を行った。

乾燥時のピコ秒領域での光エネルギー移動促進現象は我々が開発した超高速ストリークカメラ・レーザ分光装置により、「低温 77K でのクロロフィル蛍光寿命の変化」として直接観察し、さらに結果を理論解析した。コケ、多様なシアノバクテリア、藻類、乾燥耐性緑色植物なども対象に蛍光寿命を検討し、未知、複数の過剰エネルギー散逸機構を同定し、その分子機構を検討した。遺伝子情報も検討した。d-NPQ の機構を知るため、さらに多様な生物の反応中心上でのクロロフィル分子配列と、励起エネルギー移動過程や蛍光特製を理論面からも検討した。

4. 研究成果

一部の光合成生物は、乾燥耐性や低温耐性をもつ。その中でも樹皮や岩石表面に広く分布する地衣類(緑藻やシアノバクテリアを内部共生する菌類)は、乾いて長時間強光にさらされても死なず、雨や霧で再湿潤するとすぐさま光合成を再開することを確認した。しかし、地衣の光合成系やその乾燥耐性の分子機構は、地衣自体の乾燥耐性の機構とともに、長く不明であった。

我々は偶然地衣類を乾燥下で観察し、乾燥条件下では、地衣内部共生藻の光化学系 (PS)

上の励起エネルギーが超短時間（10 ps 程度）で完全消失することを、超高速レーザ分光法による蛍光寿命測定で発見した(Komura ら 2010, BBA)。この短寿命化は可逆的で、水の再添加で数分以内に回復する。これ以前にコケのクロロフィル蛍光が乾燥で低下するという、Heber らの報告があったがその機構はわかっていなかった。

我々の蛍光寿命研究の結果は、この分子機構を探るための新しい手がかりを与えた。それまで通常植物で連続光照射下で見られてきた NPQ よりも 10 倍以上強力な蛍光減少が乾燥時の地衣にはみられた。これを「乾燥誘導性の非光化学的消光機構 drought induced NPQ」(d-NPQ と略称)と名付けた。d-NPQ 機構は、湿潤状態で見られる NPQ 機構と似ている。しかし NPQ は脱水状態では起こらず、蛍光寿命の促進も桁違いに小さい。一方 d-NPQ では 100 倍近い蛍光寿命の促進があり、両者ははっきり区別され、分子機構が異なることがあきらかとなった。そこでこの顕著な蛍光寿命促進現象を指標にして新たに発見した d-NPQ 機構の分布、発動条件、分子機構を探った。

d-NPQ 現象は地衣類でまず発見されたが、「細胞内共生生物」の光合成研究は境界領域でもあり、困難であった。国内外の地衣類研究者数も少なく（日本地衣類学会は学生会員をいれた会員数 50 名）、分類研究に偏っており、地衣類の光合成についてはほとんどわかっていなかった。「ピコ秒蛍光測定装置中に置かれた、小石表面上の地衣類の発する超高速短寿命の蛍光減衰過程」は、我々のこれまでの光合成系の常識を覆した。幸運にも恵まれ、地衣類研究者との連携が進み、55 種の地衣類を日本各地で採取、同定、測定できた。発表論文を媒介に海外（ドイツ、オランダ）研究者との協力も生まれた。

さらに乾燥耐性コケについても蛍光寿命測定を行い、d-NPQ 機構の存在を確認した。コケ採取分類では岩月善之助氏（故人：服部研究所）の協力を得た。さらに乾燥耐性光合成植物研究の先駆者「独 Tubingen 大 U. Heber（1931-2016）博士（先述）からの提案で、近縁で乾燥耐性のコケ 2 種 *Rhytidium rugosum* と *Rhytidiadelphus squarrosus*（図 1）の比較研究を開始した。20 年以上の Heber 氏の野外観察では、これら 2 種はともに乾燥耐性だが、陰性：日陰に適応（*R. squarrosus*）と陽性：日向に適応（*R. rugosum*）である。色素系自体は乾燥してもほぼ変わらず、ともに乾燥耐性だが、後者は強光下で枯れる。しかし、Heber 氏の行ってきた蛍光収率のみを測定する PAM 測定では同様に見えていた。

我々の蛍光寿命測定から、この 2 種は異なる d-NPQ 特性をもつことが直接示された（図 2）。陽性コケでは乾燥下で PSII 色素系内部に quencher を生じ（A 型）蛍光寿命が早まり、陰性コケでは弱い寿命促進で少量のエネルギーだけが消光された（B 型）（Yamakawa, Heber, Itoh, 2017）。この他、コケ種によっては、A, B 型が協奏的に働くことがわかった。陰性の *R. squarrosus* では PSII 蛍光強度の減少は、 uphill エネルギー移動（spill over）により PSII 内から、短波長の（エネルギーレベルの高い）アンテナクロロフィルを介して、PSI にエネルギーが移動する。低温 77K では spill over がとまることから活性化エネルギーを必要とする uphill のエネルギー移動過程の存在が推定された。

両種ともに、室温では PSII に吸収された過剰な励起エネルギーを散逸可能だが、陰性種では過剰エネルギーは PSII 内で消滅せず、 uphill 移動で PSI に移動して消費される。励起エネルギーの一部は PSII にとどまり、損傷をおこす。乾燥下では弱光だけでも損傷を受けやすいので陰性種でも過剰エネルギー散逸機構の存在が有用ではある。陽性コケ *R. rugosum* の PSII は、乾燥下で内部に Quencher を出現させ励起エネルギーを直接減らすので、強光下でも過剰エネルギーを効率よく熱散逸できるとわかった。

まとめると（1）地衣類や、一部のコケ、植物、藻類、シアノバクテリアは、乾燥下で太陽光にさらされても、死なない。（2）これらの多くは、乾燥状態で、光化学系 II 上の励起エネルギーを超短時間（10ps）で熱散逸させ得ることが、超高速レーザ分光解析で示された。（3）この現象を drought-induced NPQ : d-NPQ と名づけ、その分子機構の解明を進めた。（4）乾燥下では光化学系 II の光合成色素系中に新たな消光センターが生じ、加湿で消える。（5）複数の d-NPQ 機構があることも明らかにした。（6）さらに、多様な光合成生物種の反応中心色素タンパク質複合体上での励起エネルギー移動過程を、既知の分子立体構造を利用して、理論モデルを構築し、計算機内で実験を再現した（図 3）。理論計算を用いて d-NPQ 関連現象の解析をさらに進めている。

地衣類内部の共生種となるシアノバクテリア *Nostoc* 種については、単離培養後に乾燥耐性を研究し、地衣類内部に共生する時と同様の d-NPQ 特性の発現を確認した。しかし、共生しない他のシアノバクテリア種（*Synechocystis* 等）では d-NPQ 特性を確認できなかった。一方、地衣類から単離培養した緑藻 *Treboxia sp.* は d-NPQ 特性を失い、トレハロース共存下での乾燥でのみ d-NPQ 特性が確認されたので、地衣類内部の環境も影響することがわかった。

一般的には、地衣類は乾燥耐性のある共生藻やシアノバクテリアを選び共生させ乾燥耐性を強めているようにも見える。一方 コケの多く、特に苔類は d-NPQ 特性をしめさなかった。

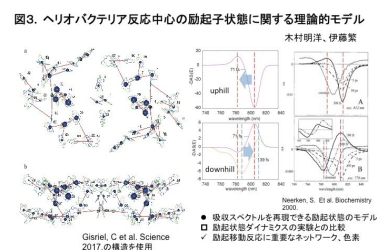
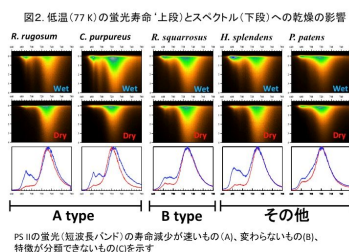
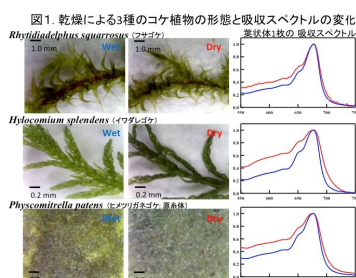
考察と将来への展望

共生系であり、細胞内部構造と内部共生藻類細胞の所在部分が複雑な地衣類だけでなく、外部培養された蘚類コケや *Nostoc* でも d-NPQ 機構が誘導されることを確認したことで、多くの光合成生物に広がる乾燥耐性機構の研究が可能となり、複数の機構が同定された。

コケ、単細胞性の緑藻、シアノバクテリアでは、培養方法、細胞の破壊法、葉緑体や光合成タンパク質の単離方法がほぼ確立されているので、今後は *in vitro* の研究を展開できる。これまでに研究されてこなかった乾燥耐性現象や、乾燥耐性光合成生物についても研究を広げることが可能となった。

典型的な d-NPQ 型の乾燥耐性機構は、維管束植物の光合成系では未確認である、しかし、一部の乾燥耐性維管束植物は似た能力を持つ。蛍光寿命測定による解析法は、d-NPQ 能力の同定、解明に必要な直接情報を与える。簡易な蛍光測定系でも類似情報が得られることも示した。

乾燥耐性の発達、多様化は光合成の分子機構を考える上で重要であり、光合成生物の進化や地上進出、さらに維管束系の進化などを考える上でも貴重な新規情報を与える。それらの機構の解明にも新視点が開けるであろう。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 Ahmed Mohamed, Shunsuke Nishi, Keisuke Kawakami, Jian-Ren Shen, Shigeru Itoh, Hiroshi Fukumura, Yutaka Shibata	4. 巻 154
2. 論文標題 Exciton quenching by oxidized chlorophyll Z across the two adjacent monomers in a photosystem II core dimer.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Photosynthesis Research	6. 最初と最後の頁 277-289
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11120-022-00948-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Akihiro Kimura, Hirotaka Kitoh-Nishioka, Toshimichi Aota, Tasuku Hamaguchi, Koji Yonekura, Keisuke Kawakami, Kyoko Shinzawa-Itoh, Natsuko Inoue-Kashino, Kentaro Ifuku, Eiki Yamashita, Yasuhiro Kashino, Shigeru Itoh	4. 巻 126
2. 論文標題 Theoretical model of the far-red-light-adapted photosystem I reaction center of cyanobacterium <i>Acaryochloris marina</i> using chlorophyll d and the effect of chlorophyll exchange	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 4009-4021
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpcc.2c00869	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Haruki Yamamoto, Kazuma Uesaka, Yuki Tsuzuki, Hisanori Yamakawa, Shigeru Itoh, Yuichi Fujita	4. 巻 10(7)
2. 論文標題 Comparative genomic analysis of the marine cyanobacterium <i>Acaryochloris marina</i> MBIC10699 reveals the impact of phycobiliprotein reacquisition and the diversity of <i>Acaryochloris</i> plasmids	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Microorganisms	6. 最初と最後の頁 1374
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/microorganisms10071374	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yuki Tsuzuki, Yusuke Tsukatani, Hisanori Yamakawa, Shigeru Itoh, Yuichi Fujita, Haruki Yamamoto	4. 巻 11
2. 論文標題 Effects of Light and Oxygen on Chlorophyll d Biosynthesis in a Marine Cyanobacterium <i>Acaryochloris marina</i>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plants	6. 最初と最後の頁 915
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/plants11070915	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tomoyasu Noji, Mai Watanabe, Takehisa Dewa, Shigeru Itoh, Masahiko Ikeuchi	4. 巻 12
2. 論文標題 Direct energy transfer from allophycocyanin-free rod-type CpcL-phycobilisome to photosystem I	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 6692 ~ 6697
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.1c01763	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tasuku Hamaguchi, Keisuke Kawakami, Kyoko Shinzawa-Itoh, Natsuko Inoue-Kashino, Shigeru Itoh, Kentaro Ifuku, Eiki Yamashita, Kou Maeda, Koji Yonekura, Yasuhiro Kashino	4. 巻 12
2. 論文標題 Structure of the far-red light utilizing photosystem I of <i>Acaryochloris marina</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 2333
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-22502-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Akihiro Kimura, Hiroataka Kitoh-Nishioka, Yasuteru Shigeta, Shigeru Itoh	4. 巻 125
2. 論文標題 Comparison between the light-harvesting mechanisms of type-I photosynthetic reaction centers of <i>Heliobacteria</i> and photosystem I: Pigment site energy distribution and exciton state	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 3727-3738
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpccb.0c09400	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Makiko Kosugi, Shin-Ichiro Ozawa, Yuichiro Takahashi, Yasuhiro Kamei, Shigeru Itoh, Sakae Kudoh, Yasuhiro Kashino, Hiroyuki Koike	4. 巻 1861
2. 論文標題 Red-shifted chlorophyll a bands allow uphill energy transfer to photosystem II reaction centers in an aerial green alga, <i>Prasiola crispa</i> , harvested in Antarctica	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics	6. 最初と最後の頁 148139 ~ 148139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbabi.2019.148139	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hirota Kato, Nishioka, Yasuteru Shigeta, Shigeru Itoh, Akihiro Kimura	4. 巻 124
2. 論文標題 Excitonic coupling on a Helio bacterial symmetrical type-I reaction center: Comparison with photosystem I	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 389 ~ 403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b11290	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Timea Kobori, Tatsuya Uzumaki, M. Kis, L. Kovacs, I. Domonkos, Shigeru Itoh, Vendula Krynicky, Saravanan G. Kuppasamy, Tomas Zakar, Jason Dean, Laszlo Szilak, Josef Komenda, Zoltan Gombos, Bettina Ughy	4. 巻 223
2. 論文標題 Phosphatidylglycerol is implicated in divisome formation and metabolic processes of cyanobacteria	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Plant Physiology	6. 最初と最後の頁 96-104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jplph.2018.02.008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Toru Kondo, Masahiro Matsuoka, Chihiro Azai, Masami Kobayashi, Shigeru Itoh, Hirozo Oh-oka	4. 巻 122
2. 論文標題 Light-Induced electron spin-polarized (ESP) EPR signal of the P800+menaquinone- radical pair state in oriented membranes of <i>Helio bacterium modesticaldum</i> : Role/Location of menaquinone in the homodimeric type-I reaction center	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 2536 ~ 2543
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.7b12171	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tomoyasu Noji, Mikano Matsuo, Nobutaka Takeda, Ayumi Sumino, Masaharu Kondo, Mamoru Nango, Shigeru Itoh, Takehisa Dewa	4. 巻 122
2. 論文標題 Lipid-controlled stabilization of charge-separated states (P+Qb-) and photocurrent generation activity of a light-harvesting reaction center core complex (LH1-RC) from Rhodospseudomonas palustris	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 1066 ~ 1080
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.7b09973	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hisanori Yamakawa, Ivo H. M. van Stokkum, Ulrich Heber, Shigeru Itoh	4. 巻 135
2. 論文標題 Mechanisms of drought-induced dissipation of excitation energy in sun- and shade-adapted drought-tolerant mosses studied by fluorescence yield change and global and target analysis of fluorescence decay kinetics	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Photosynthesis Research	6. 最初と最後の頁 285 ~ 298
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11120-017-0465-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 Chihiro Azai, Hirozo Oh-oka, Hirotaka Kitoh-Nishioka, Akihiro Kimura, Shigeru Itoh
2. 発表標題 Exciton states on the Type-I reaction center of green sulfur bacterium Chlorobaculum tepidum studied by genetic manipulation of bacteriochlorophyll a and the structure-based theoretical modeling
3. 学会等名 International Congress on Photosynthesis Research 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村有花、大河内幹仁、伊藤繁、木村明洋
2. 発表標題 Chlorophyll f を含む遠赤色光型光化学系 1 の光捕集におけるRed-Chlorophyll の役割に関する理論的研
3. 学会等名 日本物理学会 第 77 回年次大会 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村明洋, 鬼頭宏任, 青田俊道, 浜口祐, 米倉功治, 川上恵典, 新沢-伊藤恭子, 井上-菓子野名津子, 伊福健太郎, 菓子野康浩, 山下栄樹, 伊藤繁
2. 発表標題 クロロフィルdを持つ遠赤色光型反応中心 A.marina 光化学系 I の光捕集機構に関する理論解析
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村明洋, 鬼頭宏任, 重田育照, 伊藤繁
2. 発表標題 ヘリオバクテリアI型反応中心の光捕集機構の理論解析: 光化学系Iとの機能的差異
3. 学会等名 第11回日本光合成学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村明洋, 鬼頭宏任, 重田育照, 伊藤繁
2. 発表標題 I型光合成反応中心の構造と機能の多様性: ヘリオバクテリア反応中心と光化学系Iとの比較
3. 学会等名 第28回「光合成セミナー2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村明洋, 鬼頭宏任, 浜口祐, 米倉功治, 川上恵典, 菓子野康浩, 浅井智広, 大岡宏造, 伊藤繁
2. 発表標題 細菌と植物のもつ多様な光合成 I 型反応中心の光捕集機能に関する比較
3. 学会等名 量子生命科学会 第3回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村明洋, 鬼頭宏任, 浜口祐, 米倉功治, 川上恵典, 菓子野康浩, 伊藤繁
2. 発表標題 A. marina の光化学系 I の光捕集機構:T. elongatus の光化学系 I との比較
3. 学会等名 第59回日本生物物理学会年会 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村明洋, 鬼頭宏任, 重田育照, 伊藤繁
2. 発表標題 ヘリオバクテリア I 型反応中心と PSI の in silico モデル比較 : 色素サイトエネルギー分布と励起移動
3. 学会等名 第62回日本植物生理学会年会 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村明洋, 鬼頭宏任, 重田育照, 伊藤繁
2. 発表標題 ヘリバクテリアI 型反応中心とPSIのin silico モデル比較 : 色素サイトエネルギー分布と励起移動
3. 学会等名 生物物理学会中部支部会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村明洋, 鬼頭宏任, 重田育照, 伊藤繁
2. 発表標題 ヘリオバクテリアI型反応中心の光捕集機構の理論解析 : 光化学系Iとの機能的差異
3. 学会等名 日本物理学会 2020年 秋季大会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村明洋, 鬼頭宏任, 重田育照, 伊藤繁
2. 発表標題 ヘリオバクテリアI型反応中心と光化学系Iにおける光捕集機能の解析と比較
3. 学会等名 量子生命科学会 第2回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村明洋, 伊藤繁
2. 発表標題 ヘリオバクテリアI型対称性反応中心: 励起子状態と超高速エネルギー移動の理論モデル
3. 学会等名 第60回 日本植物生理学会年会(国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鬼頭宏任, 重田育照, 伊藤繁, 木村明洋
2. 発表標題 ヘリオバクテリアI型反応中心と光化学系Iの構造、色素系、励起状態の比較
3. 学会等名 第61回 日本植物生理学会年会(国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村 明洋, 伊藤 繁
2. 発表標題 I型反応中心の励起子状態と励起移動の理論モデル
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武藤 鷹矢、佐藤 知樹、北條 楽、伊藤 繁、岩崎 郁子
2. 発表標題 地衣類共生シアノバクテリアの炭素濃縮機構CCMと共生
3. 学会等名 第59回日本植物生理学会年会（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小杉 真貴子、小沢 真一郎、伊藤 美空、亀井 保博、菓子野 康浩、高橋 裕一郎、伊藤 繁、小池 祐幸
2. 発表標題 南極に生育する緑藻、 <i>Prasiola crispata</i> に見られる顕著な長波長シフトクロロフィルの生理学的解析
3. 学会等名 第59回日本植物生理学会年会（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山川 壽伯、I.H.M.van Stokkum, U. Heber, 伊藤 繁
2. 発表標題 乾燥耐性コケの過剰励起光エネルギー散逸機構・クロロフィル蛍光のグローバル解析
3. 学会等名 第59回日本植物生理学会年会（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Oh-oka, T. Kondo, C. Azai, T. Nakaniwa, H. Tanaka, G. Kurisu, S. Itoh
2. 発表標題 Menaquinone(MQ) in the reaction center of <i>Halobacterium modesticum</i> studied by ESP-EPR signal of P800+MQ-: Its implication in the 3D structure
3. 学会等名 Int. Symp. Photosynt. Prokariotes (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Itoh, K. Satoh, K. Sugiura
2. 発表標題 Variation of pigments in individual cells of a cyanobacterium <i>Nostoc xsp.</i> In symbiotic cyano-lichens and in N+ and N- cultures. Study by confocal laser microspectrometry
3. 学会等名 Int. Symp. Photosynt. Prokariotes (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山川壽伯、van Stokkum, U. Heber, 伊藤繁
2. 発表標題 乾燥耐性コケの過剰励起光エネルギー散逸機構・クロロフィル蛍光のグローバル解析
3. 学会等名 日本植物生理学会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小杉真貴子、小沢真一郎、伊藤美空、亀井保博、菓子野康浩、高橋裕一郎、伊藤繁、小池祐幸
2. 発表標題 南極に生育する緑藻、 <i>Prasiola crispata</i> に見られる顕著な長波長シフトクロロフィルの生理学的解析
3. 学会等名 日本植物生理学会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武藤鷹矢、佐藤知樹、北條楽、伊藤繁、岩崎郁子
2. 発表標題 地衣類共生シアノバクテリアの炭素濃縮機構CCMと共生
3. 学会等名 日本植物生理学会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤 繁、山川 壽伯、U.Heber、佐藤和樹、岩崎 郁子、Z. Valkoi
2. 発表標題 乾燥下でのシアノバクテリア・藻・地衣・コケ・高等植物の 超高速励起エネルギー散逸機構
3. 学会等名 日本光合成学会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	井原 邦夫 (Ihara Kunio) (90223297)	名古屋大学・遺伝子実験施設・准教授 (13901)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
オランダ	Vrije Universities Amsterdam			
ハンガリー	Hungarian Academy of Science			