

平成 21 年 6 月 26 日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19350088
 研究課題名（和文） 光合成初期過程をモデルとした超分子ナノデバイスの創製
 研究課題名（英文） Construction of supramolecular nano-devices inspired by biosystems in photosynthetic initial stage
 研究代表者
 民秋 均（TAMIAKI HITOSHI）
 立命館大学・薬学部・教授
 研究者番号：00192641

研究成果の概要：緑色嫌気性光合成細菌の膜外にある光収穫アンテナ部では、クロロフィル色素のみが自己集合してアンテナ色素部を構成していることを、研究代表者の研究によって明らかにしてきた。どのようなクロロフィル色素分子をどのような環境下に置いたときに自己集積をするのかというデータを基にして、(半・全)合成環状テトラピロール分子の J 会合体を利用した光応答型の超分子ナノデバイスの創製を行なった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	9,900,000	2,970,000	12,870,000
2008年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
総計	14,900,000	4,770,000	19,370,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・生体関連化学

キーワード：自己組織化・超分子化学・ナノ材料・生体分子・有機化学

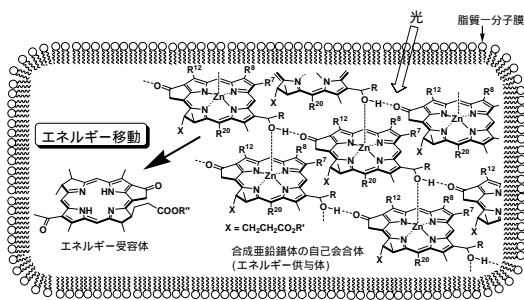
1. 研究開始当初の背景

天然光合成系には、多数の色素分子が含まれており、構成色素分子間の相互作用がよく見られる。とりわけ、大環状電子系のクロロフィル分子同士が、その平面をほぼ平行に配置しながら部分的に重なり合っている J 会合体は、構造面からも機能面からも注目されている。例えば、反応中心におけるスペシャルペア（2量体）や光収穫アンテナにおける（擬）環状構造（8/9/16/18量体）は、X線結晶構造解析によって、その色素-タンパク質複合体の巧妙な超分子構造が解明されており、機能についても理論・実験両面から精力的に検討されている（例えば、T. Oba, H. Tamiaki, Bioorg. Med. Chem., **13**, 5733–579 (2005)）。ただ、このような系は、タ

ンパク質を基盤としてその上にクロロフィル色素分子が配置されているために、再構成やモデル実験が難しいという問題点をかかえていた。

一方、緑色嫌気性光合成細菌の膜外にある光収穫アンテナ部（以下クロロゾームと呼ぶ）は、クロロフィル色素のみが自己集合してアンテナ色素部を構成し、タンパク質は超分子構造の形成において大きな役割を果たしていないことが、研究代表者らの研究によって明らかになり、学会でも認められるようになってきた（H. Tamiaki, Photochem. Photobiol. Sci., **4**, 675–680 (2005); T. Miyatake, H. Tamiaki, J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev., **6**, 89–107 (2005); T. S. Balaban, H. Tamiaki, A. R. Holzwarth, Topics

Curr. Chem., **258**, 1–38 (2005)など参照)。さらに、この特異な超分子構造をもつクロロゾームの光収穫/エネルギー移動機能に関するモデル系の構築にも成功していた(下図参照: H. Tamiaki, T. Miyatake, R. Tanikaga, A. R. Holzwarth, K. Schaffner, Angew. Chem. Int. Ed. Engl., **35**, 772–774 (1996) / Y. Saga, S. Akai, T. Miyatake, H. Tamiaki, Chem. Lett., **33**, 544–545 (2004))。



このような研究によって、どのような分子がどのような環境下に置かれたときに自己集積をするのかという基礎データがかなり得られてきた。また、自己集積してJ会合体を形成するとき、構成分子の遷移モーメントを自己会合型超分子内でも揃えて、秩序だった会合体を形成すれば、光学的性質が会合度によって大きく変化することも明らかになりつつあった。

2. 研究の目的

以上のことより、クロロフィル自己集積体にもとづく光合成初期過程をモデルとした超分子ナノデバイスの創製という本研究が着想された。クロロフィルに代表される環状テトラピロール類であるポルフィリン型分子を基本骨格として、自己集積能を付与するように分子を設計し、天然産クロロフィルを改変(半合成)、もしくは有機合成化学を駆使して(全合成)、自己集積型分子の合成を行う。次に、様々な均一系(低極性有機溶媒/水系溶媒/フッ素化溶媒/超臨界媒体等)や不均一系環境下(多孔性化合物/層状化合物/界面・表面/ミセル/二分子膜/液晶/高分子内等)でこのような(半・全)合成分子のJ会合体を形成させて、ナノ構造体を構築し、その機能の多角的(エネルギー伝達/光電流/波長変換等)な解明をおこないつつ、超分子ナノデバイスの創製を行うことを研究目的とした。

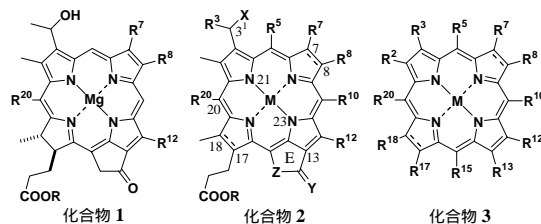
3. 研究の方法

(1) 会合性ポルフィリン類の合成

クロロゾーム型クロロフィル(化合物1)をモデルとして、アキシャル配位子を取りやすいポルフィリン金属錯体(Mg, Fe, Co, Zn,

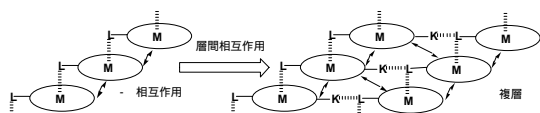
Cdなど)の環系の周辺部位に、配位性官能基(アミノ基や水酸基など)を導入した化合物を合成する。 - 相互作用を大きくするために、導入官能基はなるべく系の近傍に配置することが肝要である。また、会合体での物性変化を大きくするために、官能基の導入方向も重要である。例えば、(バクテリア)クロリンでは、Qy軸(N21 - N23軸)方向に官能基置換することが必要である。

以上のような条件を満たす化合物の合成は、モデル計算を行うことで予め分子設計を緻密に行い、そのような分子群を、生体から天然産色素を抽出してその一部を有機化学的・生化学的に改変すること(化合物2)、もしくは骨格を含めて最初から完全に有機化学的に構築すること(化合物3)で合成する。



(2) J会合体の構築

上述の(1)で述べたような合成ポルフィリン分子を、疎水環境場や水中に分散すれば、以下のようにしてJ会合体を形成する(下図参照): ポルフィリン環中心の金属Mと環周辺部にあるLとの間での配位やイオン結合を主として用いて、平面間をずらして集積し、J会合体を形成する。基本は N_4M-L 型5配位の直線的な単層型のJ会合体であるが、Lと相互作用するようなKを環周辺部に付加することで、単層同士を組み合わせた複層型の巨大なJ会合体を形成する。



会合体の安定性を、他の置換基による付加的な相互作用(アルキル-アルキルやCH-の疎水相互作用やF-F相互作用などの分子間力など)によって調整して、超分子構造を規制する。単量体と会合体の物性を大きく変化させるためには、構成分子の遷移モーメントを超分子中で揃える必要があるため、そのようになるような秩序だったJ会合体の構築を行う。

(3) 超分子構造を規制した会合体の構築

自己集積体のサイズ制御のために、まず会合環境を空間的に規制する。堅い空間としては、ゼオライトのような多孔性化合物や粘土のような層状化合物のほか、結晶表面やその欠陥を利用したナノサイズの溝を用いる。柔

らかい空間としては、流動性の高いミセルや二分子膜や、やや流動性の落ちる人工・天然高分子内や、より安定性の高いナノカプセル、さらには液晶場も検討する。

続いて、会合度の規制には、類似化合物で会合を止めるような構造をした化合物を合成して、そのような化合物を添加することで行う：その仕込量に応じて会合度が規制できる可能性がある。これ以外にも、温度/圧力/溶媒粘度/溶媒極性等の会合環境を変化させることでも、会合度の制御を試みる。

(4) 超分子系での機能創出

J会合体の光励起に伴うエネルギー移動は、添加分子(前頁の1での図を参照)を受容体として利用するために、J会合体が有する励起エネルギー準位よりも低いエネルギーを吸収することが可能な色素分子を用いる。また、光励起電子移動の場合には、J会合体が電子を放出しやすいので、添加分子を電子受容体として利用する。どちらの場合でも、大面積を有するJ会合体が光を吸収・収穫して、少量のエネルギー/電子受容体に効率よく伝達することになる系を探求する。

4. 研究成果

(1) 会合性ポルフィリン類の合成

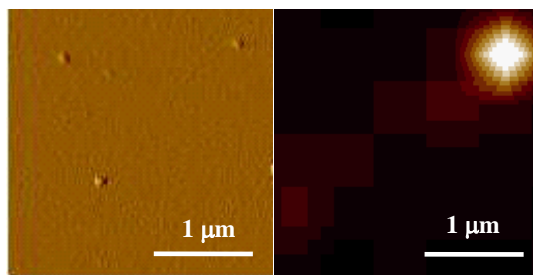
天然のクロロゾーム型クロロフィルをモデルとして、アキシャル配位子を取りやすいポルフィリン金属錯体をベースとして、環系の周辺部位に配位性官能基を導入した化合物を合成した。特に、そのような分子群を、生体から天然産色素を抽出してその一部を有機化学的・生化学的に改変することで合成することに成功した。さらに、17位上の置換基を多様に变化させることにも成功した。

(2) J会合体の構築

(1)で述べたような合成ポルフィリン分子を、水溶性ミセル(マイクロ疎水場)・低極性有機溶媒(マクロ疎水場)・フルオラス溶媒・高圧二酸化炭素中・液晶中に分散することで、J会合体を形成させることに成功した。会合体の安定性を、他の置換基による付加的な相互作用(アルキル-アルキルやC-H...の疎水相互作用やF-F相互作用などの分子間力など)によって調整して、超分子構造を規制することにも成功した。

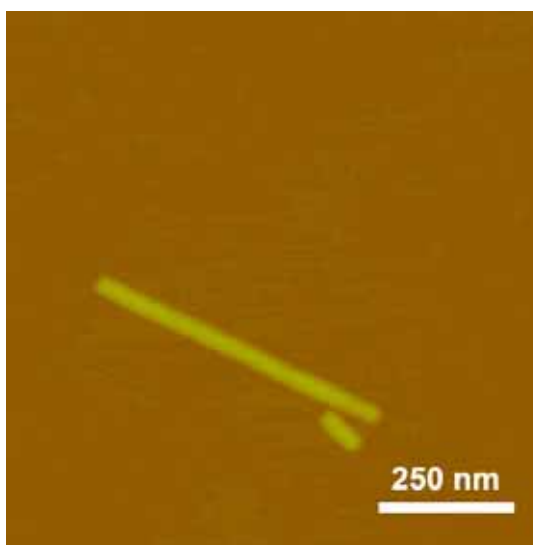
(3) 超分子構造を規制した会合体の構築

自己集積体のサイズ制御のために、会合環境を空間的に規制する堅い空間として、シリケートサブマイクロカプセルを利用して、一つの球状カプセル(動的分散法による平均粒径が約100nm)中に約一万個の分子を自己集積した系を作ることにも成功した。



原子間力顕微鏡(左)と顕微蛍光発光像(右)

さらに、基板の上に球状(上図)やロッド状(下図)の発光性の合成ポルフィリン自己会合体を形成することに成功し、その超分子構造を原子間力顕微鏡で確認した。



(4) 超分子系での機能創出

(3)で述べた系を電極上に展開することで、合成ポルフィリンの自己会合体の光励起に伴う近傍の電子受容体への電子移動が生じて、光電流を観測できた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

- [雑誌論文](計47件)全て査読有り
1. Q.-M. Wang, H. Tamiaki, "Highly Efficient and Selective Turn-Off Quenching of Ligand-Sensitized Luminescence From Europium imidazo[4,5-f]-1,10-phenanthroline Complex by Fluoride Ion," J. Photochem. Photobiol., A: Chem., in press.
 2. Y. Hirai, H. Tamiaki, S. Kashimura, Y. Saga, "Physicochemical Studies of Demetalation of Light-Harvesting Bacteriochlorophyll Isomers Purified from Green Sulfur Photosynthetic Bacteria," Photochem. Photobiol., in press.
 3. Y. Saga, Y. Nakai, H. Tamiaki,

- "Temperature-dependent spectral changes of self-aggregates of zinc chlorophylls esterified by different linear alcohols at the 17-propionate," *Supramol. Chem.*, in press.
4. H. Tamiaki, A. Shinkai, Y. Kataoka, "Synthesis of galactosylated zinc bacteriochlorophyll-d analogs and their self-aggregation in an aqueous methanol solution," *J. Photochem. Photobiol., A: Chem.*, in press.
 5. Y. Shibata, Y. Saga, H. Tamiaki, S. Itoh, "Anisotropic Distribution of Emitting Transition Dipoles in Chlorosome from *Chlorobium tepidum*: Fluorescence Polarization Anisotropy Study of Single Chlorosomes," *Photosynth. Res.*, in press.
 6. Y. Ohya, N. Hashimoto, S. Jo, T. Nohori, T. Yoshikuni, T. Ouchi, H. Tamiaki, "Synthesis of Oligo-DNA Containing Hydrophilic Porphyrin On the Main Chain, and Its Energy Transfer Behavior in Duplex State," *Supramol. Chem.*, **21**, 301–16309765 (2009).
 7. X.-F. Wang, O. Kitao, H. Zhou, H. Tamiaki, S. Sasaki, "Efficient Dye-Sensitized Solar Cell Based on Oxo-Bacteriochlorin Sensitizers with Broadband Absorption Capability," *J. Phys. Chem. C*, **113**, 7954–7961 (2009).
 8. Q.-M. Wang, S. Sasaki, H. Tamiaki, "Near-infrared luminescence from ytterbium (III) ternary complexes by visible-light excitation of attached chlorophyll derivatives," *Chem. Lett.*, **38**, in press (2009).
 9. T. Mizoguchi, C. Nagai, M. Kunieda, Y. Kimura, A. Okamura, H. Tamiaki, "Stereochemical Determination of the Unique Acrylate Moiety at the 17-Position in Chlorophylls-c from a Diatom *Chaetoseros calcitrans* and Its Effect upon Electronic Absorption Properties", *Org. Biomol. Chem.*, **7**, 2120–2126 (2009).
 10. X.-F. Wang, O. Kitao, H. Zhou, H. Tamiaki, S. Sasaki, "Extension of π -conjugation length along the Q_y axis of a chlorophyll a derivative for efficient dye-sensitized solar cells," *Chem. Commun.*, 1523–1525 (2009).
 11. T. Mizoguchi, M. Isaji, J. Harada, K. Watabe, H. Tamiaki, "Structural determination of the $\Delta^2,10$ -phytyadienyl substituent in the 17-propionate of bacteriochlorophyll-b from *Halorhodospira halochloris*," *J. Porphyrins Phthalocyanines*, **13**, 41–50 (2009).
 12. H. Tamiaki, Y. Kotegawa, S. Nitta, S. Sasaki, K. Mizutani, "Synthesis of 3²-substituted bacteriochlorophyll-d analogs and their self-aggregation in a nonpolar organic solvent," *Tetrahedron*, **65**, 628–637 (2009).
 13. S. Sasaki, Y. Kotegawa, H. Tamiaki, "Chlorophyll- and bacteriochlorophyll-derived colorimetric chemosensors for amine detection," *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **82**, 267–271 (2009).
 14. H. Morishita, H. Tamiaki, "Specific coupling between the 13-keto carbonyl and chlorin skeletal vibrational modes of synthetic $^{13}\text{C}^{18}\text{O}$ -(un)labeled metallochlorophyll derivatives," *Spectrochimica Acta A*, **72**, 274–279 (2009).
 15. T. Mizoguchi, J. Harada, M. Isaji, S. Yoshida, H. Oh-oka, H. Tamiaki, "Preferential binding of hydroxy-carotenoids to the peripheral antenna and methoxy-analogs to the core complexes in the purple photosynthetic bacterium *Rhodospseudomonas* sp. Rits," *Car. Sci.*, **13**, 33–37 (2008).
 16. T. Mizoguchi, T.-Y. Kim, S. Sawamura, H. Tamiaki, "Pressure-induced red shift and broadening of the Q_y absorption of main light-harvesting antennae chlorosomes from green photosynthetic bacteria and their dependency upon alkyl substituents of the composite bacteriochlorophylls," *J. Phys. Chem., B*, **112**, 16759–16765 (2008).
 17. H. Tamiaki, Y. Kotegawa, K. Mizutani, "Rotational deviation of 3-acetyl group from cyclic tetrapyrrole π -plane in synthetic bacteriochlorophyll-a analogs by 20-substitution," *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, **18**, 6037–6040 (2008).
 18. M. Kunieda, H. Tamiaki, "Synthesis of zinc 3-hydroxymethyl-porphyrins possessing carbonyl groups at the 13- and/or 15-positions for models of self-aggregative chlorophylls in green photosynthetic bacteria," *J. Org. Chem.*, **73**, 7686–7694 (2008).
 19. H. Tamiaki, K. Fukai, H. Shimazu, K. Nishide, Y. Shibata, S. Itoh, M. Kunieda, "Covalently linked zinc chlorophyll dimers as a model of the chlorophyllous pair in photosynthetic reaction centers," *Photochem. Photobiol. Sci.*, **7**, 1231–1237 (2008).
 20. H. Tamiaki, T. Michitsuji, R. Shibata, "Synthesis of zinc bacteriochlorophyll-d analogues with various 17-substituents and their chlorosomal self-aggregates in non-polar organic solvents," *Photochem. Photobiol. Sci.*, **7**, 1225–1230 (2008).
 21. Y. Saga, J. Harada, H. Hattori, K. Kaihara, Y. Hirai, H. Oh-oka, H. Tamiaki, "Spectroscopic properties and bacteriochlorophyll c isomer composition of extramembranous light-harvesting complexes in the green sulfur photosynthetic bacterium *Chlorobium tepidum* and CT0388-deleted mutant under vitamin B₁₂-limited conditions," *Photochem. Photobiol. Sci.*, **7**, 1210–1215 (2008).

22. J. Harada, S. Miyago, T. Mizoguchi, C. Azai, K. Inoue, H. Tamiaki, H. Oh-oka, "Accumulation of chlorophyllous pigments esterified with geranylgeranyl group and photosynthetic competence in the CT2256-deleted mutant of the green sulfur bacterium *Chlorobium tepidum*," *Photochem. Photobiol. Sci.*, **7**, 1179–1187 (2008).
23. S. Sasaki, K. Mizutani, M. Kunieda, H. Tamiaki, "Synthesis, modification, and optical properties of C3-ethynylated chlorophyll derivatives," *Tetrahedron Lett.*, **49**, 4113–4115 (2008).
24. H. Tamiaki, K. Hamada, M. Kunieda, "Synthesis of 3/8-carbonylated chlorophyll derivatives and regiodependent reductivity of their carbonyl substituents," *Tetrahedron*, **64**, 5721–5727 (2008).
25. R. Shibata, K. Koike, H. Hori, H. Tamiaki, "Self-aggregation of Synthetic Zinc Chlorophyll Derivatives Possessing Fluoroalkyl Chains in Liquid Carbon Dioxide as Models of Green Photosynthetic Bacterial Antennae," *Chem. Lett.*, **37**, 532–533 (2008).
26. X.-F. Wang, Y. Koyama, H. Nagae, Y. Wada, S. Sasaki, H. Tamiaki, "Dependence of photocurrent and conversion efficiency of titania-based solar cell on the Q_y absorption and one electron-oxidation potential of pheophorbide sensitizer," *J. Phys. Chem., C*, **112**, 4418–4426 (2008).
27. T. Mizoguchi, M. Isaji, J. Harada, H. Tamiaki, "Identification of 3,4-didehydrorhodopin as major carotenoid in *Rhodospseudomonas* species," *Photochem. Photobiol. Sci.*, **7**, 492–497 (2008).
28. K. Minamizaki, T. Mizoguchi, T. Goto, H. Tamiaki, Y. Fujita, "Identification of two homologous genes, chlA_I and chlA_{II}, that are differentially involved in isocyclic ring formation of chlorophyll a in the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803," *J. Biol. Chem.*, **283**, 2684–2692 (2008).
29. J. Harada, T. Mizoguchi, S. Yoshida, M. Isaji, H. Oh-oka, H. Tamiaki, "Composition of localization of bacteriochlorophyll a intermediates in the purple photosynthetic bacterium *Rhodospseudomonas* sp. Rits," *Photosynth. Res.*, **95**, 213–221 (2008).
30. H. Tamiaki, H. Yoshimura, Y. Shimamura, M. Kunieda, "Self-aggregation behavior of synthetic zinc 3-hydroxymethyl-13/15-carbonyl-chlorins as models of main light-harvesting components in photosynthetic green bacteria," *Photosynth. Res.*, **95**, 223–228 (2008).
31. M. Kunieda, Y. Mikata, H. Tamiaki, "Regioselective Transformation of Octaethylporphyrin into a Phytoporphyrin Analogue," *J. Org. Chem.*, **72**, 7398–7401 (2007).
32. Y. Saga, Y. Shibata, S. Itoh, H. Tamiaki, "Direct Counting of Submicrometer-Sized Photosynthetic Apparatus Dispersed in Medium at Cryogenic Temperature by Confocal Laser Fluorescence Microscopy: Estimation of the Number of Bacteriochlorophyll c in Single Light-Harvesting Antenna Complexes of Green Photosynthetic Bacteria," *J. Phys. Chem., B*, **111**, 12605–12609 (2007).
33. T. Mizoguchi, H. Tamiaki, "The effect of esterifying chains at the 17-propionate of bacteriochlorophylls-c on their self-assembly," *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **80**, 2196–2202 (2007).
34. M. Kunieda, K. Yamamoto, S. Sasaki, H. Tamiaki, "Facile synthesis of self-aggregative zinc bacteriochlorins by modifying naturally occurring chlorophyll-a," *Chem. Lett.*, **36**, 936–937 (2007).
35. X.-F. Wang, Y. Koyama, Y. Wada, S. Sasaki, H. Tamiaki, "A dye-sensitized solar cells using pheophytin-carotenoid adduct: Enhancement of photocurrent by electron and singlet-energy transfer and by suppression of singlet-triplet annihilation due to the presence of the carotenoid moiety," *Chem. Phys. Lett.*, **439**, 115–120 (2007).
36. R. Shibata, T. Mizoguchi, T. Inazu, H. Tamiaki, "Self-aggregation of synthetic zinc chlorophyll derivatives possessing multi-perfluoroalkyl chains in perfluorinated solvents," *Photochem. Photobiol. Sci.*, **6**, 749–757 (2007).
37. S. Sasaki, T. Mizoguchi, H. Tamiaki, "A facile synthetic method for conversion of chlorophyll-a to bacteriochlorophyll-c," *J. Org. Chem.*, **72**, 4566–4569 (2007).
38. Y. Saga, Y. Hirai, H. Tamiaki, "Kinetic Analysis of Demetalation of Bacteriochlorophyll c and e Homologs Purified from Green Sulfur Photosynthetic Bacteria," *FEBS Lett.*, **581**, 1847–1850 (2007).
39. H. Tamiaki, K. Kumon, R. Shibata, "Synthetic hydroxymethyl-porphyrins for protection of carboxy group," *J. Porphyrins Phthalocyanines*, **11**, 434–441 (2007).
40. T. Miyatake, S. Tanigawa, S. Kato, H. Tamiaki, "Aqueous Self-Aggregates of Amphiphilic Zinc 3¹-Hydroxy- and 3¹-Methoxy-chlorins for Supramolecular Light-Harvesting Systems," *Tetrahedron Lett.*, **48**, 2251–2254 (2007).
41. M. Kunieda, H. Tamiaki, "Regioisomerically

- controlled self-aggregation of zinc 3-hydroxymethyl-13-formyl-chlorin/porphyrin and their 3,13-inverted pigments," *J. Org. Chem.*, **72**, 2443–2451 (2007).
42. K. Wada, J. Harada, Y. Yaeda, H. Tamiaki, H. Oh-oka, K. Fukuyama, "Crystal Structures of CbiL, a Methyltransferase Involved in Anaerobic Vitamin B₁₂ Biosynthesis, and its Complex with S-Adenosylhomocysteine: Implications for the Reaction Mechanism," *FEBS J.*, **274**, 563–573 (2007).
43. Y. Shibata, Y. Saga, H. Tamiaki, S. Itoh, "Polarized Fluorescence of Aggregated Bacteriochlorophyll c and Baseplate Bacteriochlorophyll a in Single Chlorosomes Isolated from *Chloroflexus aurantiacus*," *Biochemistry*, **46**, 7062–7068 (2007).
44. H. Tamiaki, T. Nishiyama, R. Shibata, "Self-aggregation of zinc chlorophylls possessing perfluoroalkyl chains in fluoruous solvents: Selective extraction of the self-aggregates with fluoruous phase and accelerated formation of the ordered supramolecules in this phase," *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, **17**, 1920–1923 (2007).
45. H. Tamiaki, R. Shibata, T. Mizoguchi, "The 17-propionate function of (bacterio)chlorophylls: biological implication of their long esterifying chains in photosynthetic systems," *Photochem. Photobiol.*, **83**, 152–162 (2007).
46. M. Kunieda, E. Nakato, H. Tamiaki, "Optical properties of synthetic porphyrins bearing or lacking an exo-five-membered ring and a keto carbonyl group on it, both of which are present in naturally occurring chlorophylls," *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, **185**, 321–330 (2007).
47. H. Tamiaki, T. Watanabe, M. Kunieda, "Self-aggregation of Synthetic Zinc 3¹-Hydroxy-13¹-Oxo-17,18-cis-Chlorin in a Non-Polar Organic Solvent," *Res. Chem. Int.*, **33**, 161–168 (2007).

〔学会発表〕(計 1 2 2 件)

1. 民秋 均, 「クロロフィルの光化学的性質とそのデバイスへの展開」, 日本化学会第 89 春季年会、特別企画「光合成のイノベーション」, 4S5-03 (船橋, 2009 年 3 月).
2. 民秋 均, 「クロロフィル集積体の光化学」, 日本化学会第 89 春季年会、「中長期テーマ」「分子系包接環境における光化学」 2SA-14 (船橋, 2009 年 3 月).
3. H. Tamiaki, "Self-assembly of synthetic chlorophylls," 第 7 回光合成生物におけるテトラピロール光受容体に関する国際会議 (7th ICTPPO) (京都, 2007 年 12 月).

4. 民秋 均, 「クロロフィル超分子系の構築とその光化学」, 2007 年光化学討論会, 受 4 (松本, 2007 年 9 月).

5. H. Tamiaki, "Artificial Light-Harvesting Antennas by Self-Assembly of Synthetic Chlorophylls," PS07 Light Harvesting System Workshop (LH2007), ART24 (スコットランド・ドリーメン, 2007 年 7 月).

他、1 1 7 件。

〔図書〕(計 1 1 件)

1. 民秋 均, 「光合成の謎を解く鍵はクロロフィルにあり!」, *化学*, **63(11)**, 38-42 (2008).
 2. 民秋 均, 「人工クロロゾームで光を運ぶ」, 光と界面がおりなす新しい化学の世界、クバプロ、東京、134-138 (2008).
 3. 民秋 均, 「光合成における金属錯体の役割とそのモデル錯体」(1 3 章) *金属錯体の光化学*、三共出版、東京、316-342 (2007).
- 他、8 件。

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

民秋 均 (TAMIAKI HITOSHI)
立命館大学・薬学部・教授
研究者番号 : 00192641

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし