

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 9 日現在

機関番号：24402
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2014～2016
課題番号：26410183
研究課題名(和文) 光合成エネルギー伝達機構の解明に向けたハイブリッド型カロテノイド類縁体の創製

研究課題名(英文) Polyfunctional carotenoid synthesis toward elucidation of highly efficient energy transfer by marine photosynthetic organisms

研究代表者
坂口 和彦 (Sakaguchi, Kazuhiko)
大阪市立大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：80264795
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)：多官能性カロテノイドであるフコキサンチンは海洋光合成初期過程を担う補助集光色素である。クロロフィルaおよびタンパク質と共に光捕集アンテナ超分子複合体を形成し、吸収した光エネルギーを超効率的に(>85%)クロロフィルへ伝達する。この超効率的な機能にはフコキサンチンが持つICT準位の関与が提唱されている。海洋光合成の超効率的なエネルギー伝達機構の解明を目的として、本研究では、フコキサンチン類縁体の効率的な合成を可能にする新奇な合成ブロックを開発し、パラセントロンおよびその誘導体の合成を達成した。次いで、超高速時間分解吸収スペクトル解析により、パラセントロンがICT準位を持つことを明らかにできた。

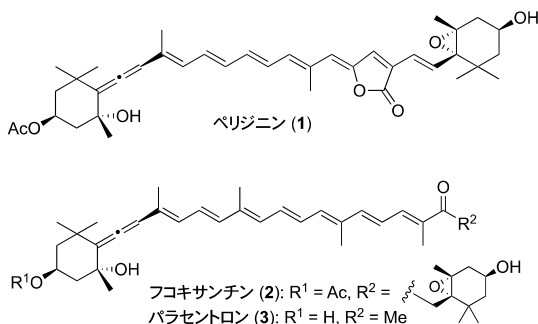
研究成果の概要(英文)：The highly oxidized marine carotenoid fucoxanthin is a representative light-harvesting pigment for photosynthesis in the sea. This carotenoid exhibits exceptionally high-energy transfer efficiency (>85%) in the fucoxanthin-chlorophyll a-protein (FCP) complex. In this project, we succeeded in the synthesis of natural apocarotenoid paracentrone, which was a one cyclohexane-moiety free analogue of fucoxanthin, and its derivatives by the sequential cross coupling reactions of novel bifunctional C5 diene units as key building blocks. The ultrafast time resolved spectra measurement of paracentrone revealed that this carotenoid possessed the intramolecular charge transfer (ICT) state, which contributed to the remarkably high light-harvesting efficiency in marine photosynthesis. Toward elucidation of the mechanism of this super function by marine photosynthetic organisms, reconstitution of the corresponding super complex containing paracentrone is in progress.

研究分野：有機合成化学

キーワード：フコキサンチン 海洋光合成初期過程 超分子複合体 ICT準位 超効率的エネルギー伝達 パラセントロン

1. 研究開始当初の背景

光合成は光エネルギーを利用し、二酸化炭素と水から酸素とデンプンを作り出すエネルギー変換反応である。光の届きにくい海洋での光合成においては、捕集した光エネルギーの効率よくクロロフィル (Chl) への伝達が要求される。藻類由来の多官能性カロテノイドであるペリジニン1およびフコキサンチン2は、Chl a およびタンパク質と共に光捕集アンテナ超分子複合体 (PCP, FCP) を形成し、その中で補助集光色素として働き、吸収した光エネルギーを超効率的に (>95%、>85%) Chl a へ伝達する。これは、自然が数十億年かけて創出した最高の光エネルギー変換素子と位置づけられる。



上記の超効率的な機能は、1 および 2 の特異な化学構造 (アレンとカルボニル基がポリエンに共役) に起因すると考えられる。これまでに、カルボニル基を持つカロテノイドでは、励起状態において分子内電荷移動 (ICT: Intramolecular Charge Transfer) が起こり、これに基づいて ICT エネルギー準位が誘起され、この ICT 準位から Chl の Q_y 順位へとエネルギー伝達が起こる可能性が提唱されていた (Fig. 1)。共同研究者の勝村らは、1 および 2 の類縁体を設計・合成し、それらの超高速時間分解吸収スペクトル解析を行うことにより、カロテノイド分子の分極が ICT 準位の誘起および性質に影響を与えることを明らかにし、ICT 準位の存在を実証した。

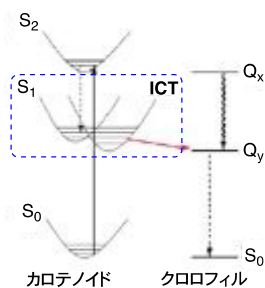


Fig. 1 光合成初期過程でのエネルギー伝達概念図

カロテノイド分子の設計・合成を基盤としたアプローチから上記の超効率的なエネルギー伝達機構を解明するには、これらのカロテノイド分子を組み込んだ光捕集アンテナ

超分子複合体を作成し、その複合体のエネルギー伝達効率を実測することが必須である。しかし、海洋藻類の光合成系での超分子複合体の再構成は困難であり、これまでにペリジニン1を用いた PCP 複合体を除いて成功例はない。このような背景の下、本研究では、カロテノイド分子の化学構造と ICT 特性の関連の詳細を探るとともに、超分子複合体の再構成を可能とする新奇カロテノイドの創製を目指した。具体的には、フコキサンチン2に焦点を当て、その類縁体であるパラセントロン3 およびその類縁体の合成法の確立と合成を検討し、それら合成分子の機能解析を行った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、海洋光合成での超効率的なエネルギー伝達機構の解明である。具体的には、超効率的なエネルギー伝達にカロテノイド分子の持つ ICT 準位が本質的であるか否かを実験的に明らかにすることである。ICT 準位の異なるカロテノイド分子を設計・合成し、これを組み入れた光捕集アンテナ超分子複合体を再構成し、その複合体を機能解析することで、カロテノイド分子の化学構造、ICT 準位、エネルギー伝達機能の3者の関係が明らかとなり、エネルギー伝達機構の解明に繋がる。したがって、まず、類縁体を視野に入れた効率的なカロテノイド合成法を開発し、設計したカロテノイド分子を合成することが求められる。

3. 研究の方法

物理、化学、生命科学分野の世界中の研究者による長年の研究にも係わらず、未だ解明されていない光合成初期過程の本質的な理解を果たすためには、全く異なる分野の最先端研究技術を積極的に融合する必要がある。本研究では、Fig. 2 に示す研究体制をとった。

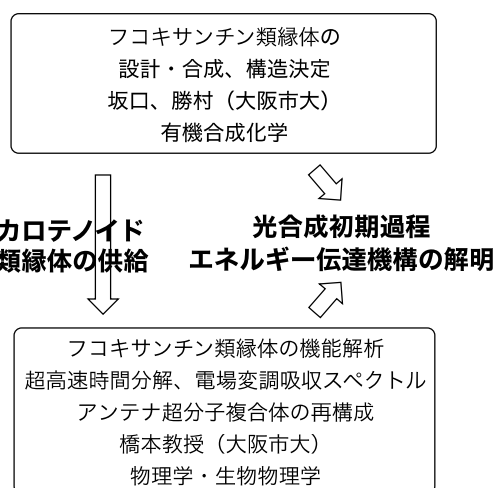


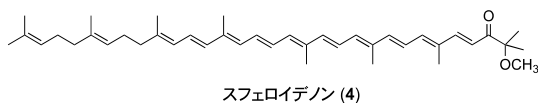
Fig. 2 研究体制

すなわち申請者は、これまでの有機合成の実績を基に、本研究に関わる新奇ビルディングブロックを用いた新たなポリエン構築法を

開発し、目的のカロテノイド類縁体の合成を推進した。ここでは、10年以上に亘るカロテノイド合成の実績を持つ勝村客員教授（阪市大院理、研究分担者）の協力を得た。また、合成した集光性カロテノイドの機能特性は、最先端の分子分光光学計測によって検討された。大阪市立大学・物理学科の橋本教授（連携研究者）グループは、パラセントロンおよびフコキサンチン類縁体について超高速時間分解吸収スペクトルおよび電場変調吸収スペクトルの測定およびそれらの解析を担当した。

4. 研究成果

海洋藻類の光合成系での光捕集アンテナ超分子複合体の再構成は極めて困難であるが、光合成細菌の分野では、顕著な成果が報告されている。すなわち共同研究者の橋本教授らは、紅色光合成細菌由来のタンパク質と天然由来の直鎖構造を持つカロテノイド、スフェロイデノン4を用いて光捕集アンテナ超分子複合体の再構成に成功している。そこで、海洋光合成系での超効率的な光合成エネルギー伝達を光合成細菌系の複合体再構成技術で実現させることを意図して、フコキサンチンの必要な官能基を備えつつ化学構造を直鎖構造に近づける、という方針のもとに、カロテノイドの分子設計を行った。具体的には、天然物アポカロテノイドであるパラセントロン3を設計した。3は、アレンとカルボニル基が連結した共役オレフィンを持つと同時に、片側のシクロヘキサン環を欠いた直鎖に近い構造を持つことから、フコキサンチン2とスフェロイデノン4とのハイブリッド化合物のひとつと位置づけられる。パラセントロン3の全合成はこれまでに2例が報告されているが、いずれもポリエン鎖の構築にWittig反応を用いているため幾何異性の制御に課題を残していた。そこで、 sp^2 - sp^2 クロスカップリングによる立体選択的な合成経路の確立を目指した。



(1) 新奇 C5 ジエンユニットの開発

ポリエン鎖を効率よく合成するための新たな C5 ビルディングブロックとして、ビニルヨウ素およびビニルホウ素を両端に持つジエン6を設定し合成に取り組んだ。検討の結果、ジエン5に対するクロスメタセシスによるビニルホウ素の導入が有効なことを見出し、両官能性ジエン6が合成できた (Fig. 3)。分子6は Pd 触媒を用いたクロスカップリングにより両方向へのオレフィン鎖の伸長が可能である。

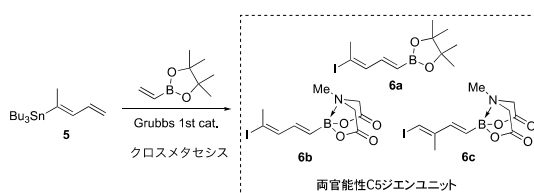
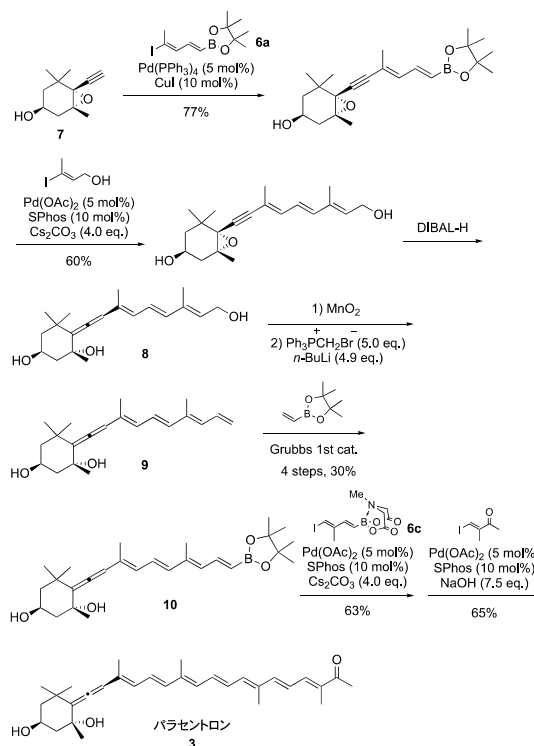


Fig. 3 新奇 C5 ジエンユニットの開発

(2) パラセントロンの合成

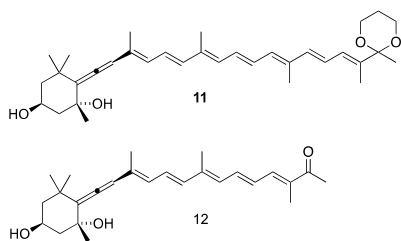
既知のエポキシアセチレン7に菌頭反応、鈴木・宮浦反応により C5 ジエン6aとヨウ化ビニルを順次カップリングし、続く DIBAL 還元によりアレン体8を立体選択的に合成した (Scheme 1)。末端の1級アルコールを酸化し、増炭によりテトラエン9へ導いた後、クロスメタセシスによるビニルホウ素の導入により分子10が合成できた。続いて C5 ジエン6cとビニルヨウ素を鈴木・宮浦反応により順次カップリングすることで目的のオールトランス型のパラセントロン4の立体選択的合成に成功した。本合成法は、両官能性 C5 ジエンビルディングブロック6を活用することで、簡便かつ効率のよいカロテノイド合成を可能にするものであり、ポリエンを有する天然物およびその類縁体合成に威力を発揮するものと期待される。



Scheme 1 パラセントロンの合成

(3) パラセントロン類縁体の合成

上記の合成ルートを活用することで、パラセントロン類縁体として、アセタール体11およびオレフィン鎖を短くした12を合成した。11および12は、ICT準位の誘起をコントロールするために双極子モーメントを変化させた化合物である。



(4) 物性評価

ICT 準位は、非極性溶媒よりも極性溶媒中において顕著に安定化されることが特徴である。合成したパラセントロン 3 の超高速時間分解吸収スペクトルにより励起エネルギー準位の寿命(緩和時間)を測定したところ、非極性溶媒よりも極性溶媒中において安定化される励起エネルギー準位が観測された(ヘキサン中 82.0 ps、メタノール中 12.0 ps)。これは、フコキサンチン 2 の場合(ヘキサン中 69.6 ps、メタノール中 18.7 ps)と類似の傾向を示すものであり、これより、パラセントロンがフコキサンチンと同じく ICT 準位を持つことが明らかとなった。フコキサンチンの右端のシクロヘキサン部位は ICT 準位の誘起に関与していないことを示す結果と言える。現在、パラセントロン類縁体の機能解析を推進すると同時に、パラセントロンを用いた光捕集アンテナ超分子複合体の再構成を試みている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

Strategies to enhance the excitation energy-transfer efficiency in the light-harvesting system using the intra-molecular charge transfer character of carotenoids, N. Yukihiro, Y. Sugai, M. Fujiwara, D. Kosumi, M. Iha, K. Sakaguchi, S. Katsumura, A. T. Gardiner, R. J. Cogdell, H. Hashimoto, *Faraday Discuss.* in press. 査読あり

DOI: 10.1039/C6FD00211K

Excited State Properties of β -Carotene Analogs Incorporating a Lactone Ring. D. Kosumi, T. Kajikawa, K. Sakaguchi, S. Katsumura, H. Hashimoto, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **2017**, *19*, 3000–3009. 査読あり

DOI: 10.1039/c6cp06828f

Stereocontrolled Synthesis of Paracentrone, Y. Nishioka, Y. Yano, N. Kinashi, N. Oku, Y. Toriyama, S. Katsumura, T. Shinada, K. Sakaguchi, *Synlett* **2017**, *28*, 327–332. 査読あり

DOI: 10.1055/s-0036-1588906

Spectroscopic Investigation of the Carotenoid Deoxyperidinin: Direct Observation of the Forbidden $S_0 \rightarrow S_1$ Transition, J. A. Greco, A. M. LaFountain, N. Kinashi, T. Shinada, K. Sakaguchi, S. Katsumura, N. C. M. Magdaong, D.

M. Niedzwiedzki, R. R. Birge, H. A. Frank, *J. Phys. Chem. B.* **2016**, *120*, 2731–2744. 査読あり

DOI: 10.1021/acs.jpcc.6b00439

Preparation of *E*- α -Stannyl- β -trimethylsilyl ethynylacrylate, Building Block for Polyconjugated Ylidenebutenolide and Its Derivatives, by Novel *E*-Selective Ethynylstannylation of Propiolate. N. Kinashi, K. Sakaguchi, S. Katsumura, T. Shinada, *Tetrahedron Lett.* **2016**, *57*, 129–132. 査読あり

DOI: 10.1016/j.tetlet.2015.11.079

Roles of Allene-group in an Intramolecular Charge Transfer Character of a Short Fucoxanthin Homologs as Revealed by Femtosecond Pump-probe Spectroscopy. D. Kosumi, T. Kajikawa, K. Yano, S. Okumura, M. Sugisaki, K. Sakaguchi, S. Katsumura, H. Hashimoto, *Chem. Phys. Lett.* **2014**, *602*, 75–79. 査読あり

DOI: 10.1016/j.cplett.2014.04.022

Elucidation and Control of an Intramolecular Charge Transfer Property of Fucoxanthin by a Modification of Its Polyene Chain Length. D. Kosumi, T. Kajikawa, S. Okumura, M. Sugisaki, K. Sakaguchi, S. Katsumura, H. Hashimoto, *J. Phys. Chem. Lett.* **2014**, *5* 792–797. 査読あり

DOI: 10.1021/jz5000287

Excited state properties of a short π -electron conjugated peridinin analogue. N. M. Magdaong, D. M. Niedzwiedzki, J. A. Greco, H. Liu, K. Yano, T. Kajikawa, K. Sakaguchi, S. Katsumura, R. R. Birge, H. A. Frank, *Chem. Phys. Lett.* **2014**, *593*, 132–139. 査読あり

DOI: 10.1016/j.cplett.2014.01.002

Straightforward synthesis of fucoxanthin short-chain derivatives via modified-Julia olefination. S. Okumura, T. Kajikawa, K. Yano, K. Sakaguchi, D. Kosumi, H. Hashimoto, S. Katsumura, *Tetrahedron Lett.* **2014**, *55*, 407–410. 査読あり

DOI: 10.1016/j.tetlet.2013.11.043

Ultrafast excited state dynamics of marine carotenoid fucoxanthin and its homologues. H. Hashimoto, D. Kosumi, R. Fujii, M. Sugisaki, M. Iha, K. Sakaguchi, and S. Katsumura, *Carotenoid Science* **2014**, *118*, 4. 査読あり

〔学会発表〕(計 30 件)

木梨尚人・坂口和彦・品田哲郎・勝村成雄、新規アンチ挿入型エチルスタニル化反応の開発とペリジニン骨格ワンポット合成への展開、第 34 回有機合成若手セミナー、大阪大学豊中キャンパス(大阪、豊中市)2014

年 8 月 5 日

坂口和彦・梶川敬之・矢野恒記・長谷川慎二・花ノ木祥平・小澄大輔・橋本秀樹・H. A. Frank・木梨尚人・品田哲郎・勝村成雄、イリデンブテノリドを骨格に含むカロテノイド類の合成と励起エネルギー準位特性、第 28 回カロテノイド研究談話会、石川県文教会館（石川、金沢市）2014 年 9 月 4-5 日

木梨尚人・坂口和彦・小澄大輔・橋本秀樹・品田哲郎・勝村成雄、クロスカップリングに有用な新規アルキニルスズの開発とペリジニン類の効率的合成研究、第 58 回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会、和歌山大学（和歌山、和歌山市）2014 年 9 月 20-22 日

D. Kosumi, T. Kajikawa, K. Yano, S. Okumura, M. Sugisaki, K. Sakaguchi, S. Katsumura, H. Hashimoto, Elucidation and Control of Ultrafast Intramolecular Charge Transfer Dynamics of Marine Photosynthetic Pigments, 19th International Conference on Ultrafast Phenomena, July 7 (Mon) - 11 (Fri), 2014, Okinawa Convention Center (Okinawa, Naha)

H. Hashimoto, D. Kosumi, R. Fujii, M. Sugisaki, M. Iha, K. Sakaguchi, S. Katsumura, Ultrafast excited state dynamics of marine carotenoid fucoxanthin and its homologues, 17th International Symposium on Carotenoids, June 29-July 4, 2014, (Park City, Utah, USA)

木梨尚人・坂口和彦・品田哲郎・勝村成雄、Development of Novel E-β-Ethynylvinylstannane for Cross Coupling Reaction and Efficient Synthesis of Peridinin Derivatives、日本化学会第 95 春季年会、日本大学・船橋キャンパス（千葉、船橋市）2015 年 3 月 26-29 日

N. Kinashi, K. Sakaguchi, T. Shinada, S. Katsumura, Direct Preparation of E-beta-Ethynyl-alpha-stannylacrylate as Effective Building Block for Peridinin Synthesis by Novel E-Selective Ethynylstannylation of Propiolate, The 2014 OCARINA Annual International Meeting, March 4-5, 2015, Osaka City University, Media Center (Osaka, Osaka City)

N. Kinashi, K. Sakaguchi, T. Shinada, S. Katsumura, Direct Preparation of E-beta-Ethynyl-alpha-stannylacrylate as Effective Building Block for Peridinin Synthesis by Novel E-Selective Ethynylstannylation of Propiolate, The 18th Osaka City University International Conference, March 9, 2015, Osaka City University, Media Center (Osaka, Osaka City)

Y. Nishioka, N. Kinashi, K. Sakaguchi, T. Shinada, S. Katsumura, Synthetic Study of Paracentrone using Cross Coupling Method, The 18th Osaka City University International Conference, March 9, 2015, Osaka City

University, Media Center (Osaka, Osaka City)

西岡勇人、奥菜津未、勝村成雄、品田哲郎、坂口和彦、Paracentrone の全合成研究、第 35 回有機合成若手セミナー、京都府立大学下鴨キャンパス（京都、京都市）2015 年 8 月 1 日

坂口和彦、木梨尚人、西岡勇人、奥菜津未、鳥山陽平、H. A. Frank、勝村成雄、品田哲郎、海洋光合成エネルギー伝達機構の解明に向けた新規多官能性カロテノイドの設計と合成、第 29 回カロテノイド研究談話会、首都大学東京（東京、八王子市）2015 年 9 月 4-5 日

西岡勇人、矢野陽、木梨尚人、奥菜津未、鳥山陽平、勝村成雄、品田哲郎、坂口和彦、共役ケトンをもつアポカロテノイドの全合成研究、第 59 回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会、近畿大学（大阪、東大阪市）2015 年 9 月 5-7 日

坂口和彦、木梨尚人、西岡勇人、奥菜津未、鳥山陽平、H. A. Frank、勝村成雄、品田哲郎、デオキシペリジニンの合成研究、第 59 回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会、近畿大学（大阪、東大阪市）2015 年 9 月 5-7 日

西岡勇人、矢野陽、木梨尚人、奥菜津未、鳥山陽平、勝村成雄、品田哲郎、坂口和彦、Total Synthesis of Paracentrone、日本化学会第 96 春季年会、同志社大学・京田辺キャンパス（京都、京都市）2016 年 3 月 24-27 日

橋本秀樹、行平奈央、藤原正澄、西岡勇人、品田哲郎、坂口和彦、勝村成雄、海洋性カロテノイドであるフコキサンチン類縁体（パラセントロン）のフェムト秒時間分解吸収分光、日本化学会第 96 春季年会、同志社大学・京田辺キャンパス（京都、京都市）2016 年 3 月 24-27 日

行平奈央、須貝祐子、藤原正澄、浦上千藍紗、伊波匡彦、坂口和彦、勝村成雄、橋本秀樹、紅色光合成細菌 *Rs. rubrum* の LH1 サブユニット型複合体とフコキサンチンを用いた再構成 LH1 複合体のフェムト秒時間分解吸収分光、日本化学会第 96 春季年会、同志社大学・京田辺キャンパス（京都、京都市）2016 年 3 月 24-27 日

N. Oku, Y. Nishioka, Y. Yano, N. Kinashi, S. Katsumura, T. Shinada, K. Sakaguchi, "Total Synthesis of Paracentrone", The 19th Osaka City University International Workshop on Advanced Molecular Materials Science, Nov. 12, 2015, Osaka City University, Media Center (Osaka, Osaka City)

K. Sakaguchi, N. Kinashi, H. A. Frank, S. Katsumura, T. Shinada, Development of E-β-Ethynyl-α-stannylacrylate Toward Efficient Synthesis of Polyfunctional Carotenoids, the Twelfth International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (IKCOC-13), 9-13 November 2015, Rihga Royal Hotel Kyoto (Kyoto City, Kyoto)

K. Sakaguchi, T. Kajikawa, S. Hananoki, N. Kinashi, D. Kosumi, H. Hashimoto, H. A. Frank, T. Shinada, S. Katsumura, Polyfunctional carotenoid synthesis via one-pot strategy: Toward elucidation of highly efficient energy transfer by marine photosynthetic organisms, 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM 2015), Honolulu, Hawaii, USA, 2015, December 15-20

Y. Nishioka, Y. Yano, N. Kinashi, N. Oku, Y. Toriyama, S. Katsumura, T. Shinada, K. Sakaguchi, Total Synthesis of Paracentrone, The 2016 OCARINA Annual International Meeting, March 17-18, 2016, Osaka City University, Media Center (Osaka, Osaka City)

②① 小澄大輔、梶川敬之、坂口和彦、勝村成雄、橋本秀樹、カルボニル基を導入したβ-carotene 類縁体の光学応答、第30回カロテノイド研究談話会、ホテルムーンビーチ(沖縄、恩納村)2016年6月25-26日

②② 行平奈央、須貝祐子、藤原正澄、浦上千藍紗、小澄大輔、伊波匡彦、坂口和彦、勝村成雄、橋本秀樹、紅色光合成細菌 *Rs. rubrum* G9+ の LH1 サブユニット型複合体とフコキサンチンを用いた LH1 複合体の再構成、第30回カロテノイド研究談話会、ホテルムーンビーチ(沖縄、恩納村)2016年6月25-26日

②③ 小澄大輔、梶川敬之、坂口和彦、勝村成雄、橋本秀樹、モデルカロテノイドにおける分子内電荷移動状態の解明、光合成セミナー2016: 反応中心と色素系の多様性、龍谷大学深草キャンパス(京都、京都市)2016年7月9-10日

②④ 西岡勇人、矢野陽、木梨尚人、奥菜津未、鳥山陽平、勝村成雄、品田哲郎、坂口和彦、Paracentrone の全合成、第36回有機合成若手セミナー、京都薬科大学(京都、京都市)2016年8月9日

②⑤ Y. Nishioka, Y. Yano, N. Kinashi, N. Oku, Y. Toriyama, S. Katsumura, T. Shinada, K. Sakaguchi, Total Synthesis of Paracentrone, International Symposium on Natural Products for the Future 2016 Tokushima, September 1-4, 2016, Tokushima Bunri University (Tokushima, Tokushima City)

②⑥ Y. Nishioka, Y. Yano, N. Kinashi, N. Oku, Y. Toriyama, S. Katsumura, T. Shinada, K. Sakaguchi, Total Synthesis of Paracentrone, The 10th International Symposium on Integrated Synthesis (ISONIS-10), November 18-19, 2016, Awaji Yumebutai International Conference Center (Hyogo, Awaji City)

②⑦ N. Yukihiro, Y. Sugai, M. Fujiwara, C. Uragami, D. Kosumi, K. Sakaguchi, S. Katsumura, A. T. Gardiner, R. J. Cogdell, and H. Hashimoto, Energy-transfer efficiency of fucoxanthin reconstituted into the light-harvesting 1 complex from a purple photosynthetic bacterium *Rhodospirillum rubrum*

G9+, The 23rd International SPACC (The Society of Pure and Applied Coordination Chemistry) Symposium; Functional complexes and their new applications, November 21-23, 2016, Okayama University of Science (Okayama, Okayama City)

②⑧ Y. Nishioka, Y. Yano, N. Kinashi, N. Oku, Y. Toriyama, S. Katsumura, T. Shinada, K. Sakaguchi, Total Synthesis of Paracentrone Using Bifunctional C5 Diene Units, 日本化学会第97春季年会、慶應義塾大学日吉キャンパス(神奈川、横浜市)2017年3月16-19日

②⑨ N. Yukihiro, Y. Sugai, M. Fujiwara, D. Kosumi, M. Iha, K. Sakaguchi, S. Katsumura, A. T. Gardiner, R. J. Cogdell and H. Hashimoto, Investigation of the fucoxanthin reconstituted light-harvesting 1 complex from a purple photosynthetic bacterium *rubrum* G9+, 日本化学会第97春季年会、慶應義塾大学日吉キャンパス(神奈川、横浜市)2017年3月16-19日

③⑩ N. Yukihiro, Y. Sugai, M. Fujiwara, D. Kosumi, M. Iha, K. Sakaguchi, S. Katsumura, A. T. Gardiner, R. J. Cogdell and H. Hashimoto, Reconstitution of the Light-harvesting 1 Complex from a Purple Photosynthetic Bacterium *Rhodospirillum rubrum* G9+ with Fucoxanthin, 2017 International Conference on Artificial Photosynthesis (ICARP 2017), March 2-5, 2017, Ritsumeikan University (Kyoto, Kyoto City)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂口 和彦 (SAKAGUCHI KAZUHIKO)
大阪市立大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 80264795

(2) 研究分担者

勝村 成雄 (KATSUMURA SHIGEO)
大阪市立大学・大学院理学研究科・客員教授
研究者番号: 70047364

(3) 連携研究者

橋本 秀樹 (HASHIMOTO HIDEKI)
大阪市立大学・複合先端研究機構・教授
研究者番号: 50222211