

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 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：2013～2015

課題番号：25410183

研究課題名(和文) 有機合成を基盤とした海洋光合成を担う補助集光性カロテノイドの機能解明

研究課題名(英文) Functional Ability Elucidation of Auxiliary Light Harvesting Carotenoids Acting in Marine Photosynthesis based on Organic Synthesis

研究代表者

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：多官能性カロテノイドのペリジニンおよびフコキサンチンは、海洋光合成初期過程を担う集光性補助色素である。これらは、クロロフィルやタンパク質と共に超分子複合体(PCP、FCP)を形成し、吸収光エネルギーを85%以上および95%以上の超効率でクロロフィルへ伝達する。本研究では、両カロテノイドの類縁体を合成し、超高速時間分解吸収スペクトル解析により、それらの構造的特徴と機能の関係を明らかにした。次いで、ペリジンンの超効率エネルギー伝達機構解明を目指し、新規合成法による新たな合成シントンを開発し、デオキシ類縁体の効率よい合成を達成した。さらに、この合成品を用いてPCPの再構成を検討しつつある。

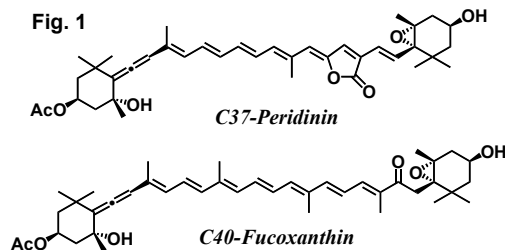
研究成果の概要(英文)：Peridinin and fucoxanthin are auxiliary light harvesting pigments in the sea. In the super complexes constructed with these carotenoids, chlorophyll and apoprotein, high (>85%) energy transfer efficiencies from them to chlorophyll were reported. Previously, we substantiated the existence of intramolecular charge transfer state (ICT) by ultrafast time resolved spectra measurements (UTRSM) of the synthesized  $\beta$ -conjugation modified analogues. In this project, we have elucidated that ylidenbutenolide of peridinin is essential for ICT generation and allene of fucoxanthin contributes ICT stabilization, by UTRSM of  $\beta$ -carotenylidenbutenolide derivatives and also C32 fucoxanthin olefin-derivatives. Intending to reconstitute the corresponding super complex, we have synthesized peridinin decarbonyl analogue by the sequential sp and sp<sup>2</sup> couplings from E- $\beta$ -ethynyl- $\beta$ -stannyl acrylate, obtained by novel anti-selective ethynylstannylation of propiolate. Reconstitution has not been successful yet.

研究分野：有機合成化学、天然物化学

キーワード：海洋光合成初期過程 カルボニルカロテノイド ペリジニン フコキサンチン デオキシペリジニン類縁体合成 構造的特徴と機能の関係 超効率的エネルギー伝達機構解明

### 1. 研究開始当初の背景

光合成は光エネルギーを化学エネルギーへ変換するプロセスであり、先ず光を捕集する過程に始まる。中でも光の届きにくい海洋では、捕集した光エネルギーの効率よいクロロフィル (Chl) への伝達が要求される。赤潮の原因プランクトンおよび褐藻より単離された高次カロテノイドであるペリジニンおよびフコキサンチン (Fig. 1) は補助集光色素として機能し、Chl a とタンパク質と共にアンテナ超分子複合体 (PCP、FCP) を形成し、その中で吸収した光エネルギーを超効率的 (>95%、>85%) に Chl a へ伝達する。これは、自然が数十億年かけ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。この超効率的機能は、これらカロテノイドの特異な構造に起因すると推定されている。すなわち、共にアレン結合、共役カルボニル基および7つの共役オレフィンを持ち、フコキサンチンの C40 に対しペリジニンは C37 から成り立つ。カルボニル基を持つカロテノイドは、励起状態において分子内電荷移動 (CT: Charge Transfer) が起こり、それに基づいた新たな励起エネルギー準位として ICT 準位 (Intramolecular Charge Transfer State) の存在、および、そこからクロロフィルの Qy 準位へのエネルギー伝達が提唱された。しかし、ICT 準位の存在は立証されていなかった。我々は、両カロテノイドの共役鎖長を改変した様々な類縁体を創製し、超高速時間分解吸収スペクトルの測定により、ICT 準位の存在を実証した。また、イリデンブテノリド基をシフトさせた2種類の類縁体を合成し同様な検討をした結果、この官能基による分子の分極が ICT 準位の生成に関与することを見出した。この様な背景の下に本研究では、イリデンブテノリド基と ICT 準位の関係の解明、アレン結合の役割の解明、ペリジニン類縁体のさらに効率よい合成法の開発とそれを用いたデオキシ体の合成、さらにこの合成分子を用いた PCP 再構成の試みについて検討した。



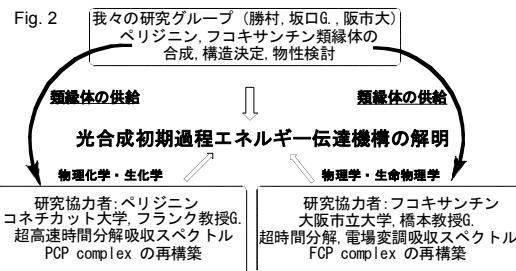
### 2. 研究の目的

海洋の光合成初期過程では、カルボニル基を有する多官能性カロテノイドが主な補助集光性色素として働いている。中でもペリジニンやフコキサンチンはアンテナ色素複合体を形成し、吸収光エネルギーを 85% 以上の効率でクロロフィルへ伝達する。本

研究では、これらカロテノイドの構造的特徴と機能の関係を明らかにし、次いでそれらの超効率的なエネルギー伝達機構の解明を目的とする。

### 3. 研究の方法

物理、化学、生命科学分野の世界中の研究者が長年に亘り研究してきたにも拘らず、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、全く異なる分野の世界最先端の研究技術を積極的に融合する必要がある。本研究ではこのような意図の下に、これまでの実績に基づいて Fig. 2 に示す研究体制をとった。すなわち申請者は、10年以上に亘るカロテノイド合成の実績を基に、ペリジニン及びフコキサンチンの様々な類縁体の合成を、新たな合成法や合成のための新規ビルディングブロックを開発しながら、研究分担者の坂口准教授 (阪市大理) の協力を得て行った。一方、これら集光性カロテノイドの機能特性は、最先端の分子分光計測によって検討された。コネチカット大学・物理化学の H.Frank 教授グループ (G.) は、ペリジニン類縁体の超高速時間分解吸収スペクトルの測定およびそれらの解析を、大阪市立大学・物理学科の橋本教授グループは、フコキサンチン類縁体について同様な検討を担当した。



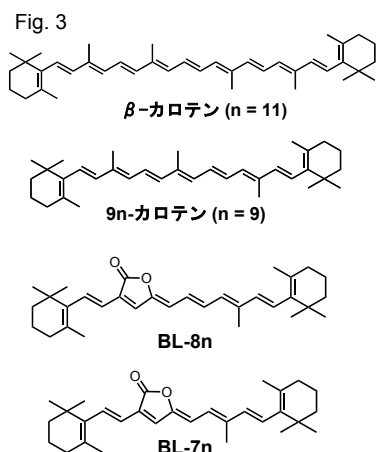
### 4. 研究成果

我々はこれまでに、ICT 準位の存在を実証しその性質の一部を解明して来た。しかし、これらカロテノイドの特徴的な官能基であるイリデンブテノリド基およびアレン結合と ICT 準位の関係、さらに ICT 準位の特性を十分に解明したとは言えない。また、これらカルボニルカロテノイドの超効率的なエネルギー伝達における ICT 準位の必要性、さらに超効率的エネルギー伝達機構は、未だ実証されていない。そこで、本プロジェクトでは、これらの問題を検討し以下の成果を挙げた。

#### (1) イリデンブテノリド基およびアレン結合と ICT 準位の関係の解明

① イリデンブテノリド基の必要性: これまでの結果から、分子の CT 状態に拠る ICT 準位の発現には、分子を分極させるカルボニル基が必須であると言われてきた。しかし、この推定の実験的な実証は、必ずしも十分であるとは言えなかった。そこで、最

も基本的な  $\beta$ -カロテンとの比較を行った。すなわち、これまでに  $\beta$ -カロテンの共役鎖長を様々に改変した類縁体が合成され、それらの励起 S1 エネルギー準位の詳細な計測が行われており、ICT 準位は認められないことが明らかとなっている。この代表的カロテノイドのクロロフィルへのエネルギー伝達効率はほぼ 60%と言われ、定量的なエネルギー伝達効率を誇るペリジニンとの違いは、イリデンブテノリド官能基存在の有無に基づくためと推定された。そこで、 $\beta$ -カロテンの構造にイリデンブテノリド官能基を組み込んだ類縁体を設計した。オレフィンの共役鎖長が 11 の  $\beta$ -カロテンと同じ極大吸収を持つテノリド類縁体として、オレフィン共役鎖長が 8 の BL-8n 類縁体を、 $\beta$ -カロテンより共役鎖長が 2 少ない  $\beta$ -カロテン類縁体 (9n-カロテン) に対し BL-7n 類縁体を設計し (Fig. 3)、これらを合成した。超高速時間分解吸収スペクトルを測定した結果、BL-8n および BL-7n 類縁体ともに顕著な ICT 準位を示した。この結果により、イリデンブテノリド官能基は、ICT 準位の発現に必須であることを実証した。

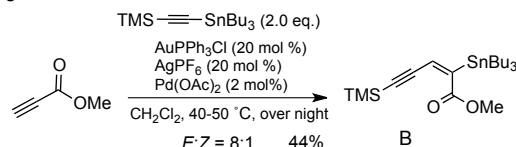


② アレン結合の機能：ペリジニン、フコキサンチンは、その構造にユニークなアレン結合をもつ。両カロテノイドにおける構造と機能の関係を明らかにするための系統的な検討の一つとしてアレン結合に焦点を当て、その必要性を検証した。我々は既に、フコキサンチンの共役鎖長を短くした数種の類縁体を合成し、それらの過渡吸収スペクトルの計測から、ICT 準位を明確に計測するためには C32 類縁体が最も適しているという結果を得ている。そこで、アレンをオレフィンに改変した C32-フコキサンチンオレフィン類縁体を効率よく合成した。この分子とアレン結合を有する C32 類縁体について、超高速時間分解吸収スペクトルを計測し比較したところ、先のペリジニンにおける結果と同様に、アレン結合は ICT 準位の安定化に貢献することが明らかになった。

(2) 超効率的エネルギー伝達機構解明に向けたこれまでの研究により、イリデンブテノリド基およびケトンカルボニル基を有するカロテノイド分子は分極 (CT 状態) し、その結果として ICT 準位が誘起されることを実証した。そこで残る問題は、ICT 準位と超効率的エネルギー伝達効率の関係の解明である。この目的を達成するためには、クロロフィル及びアポタンパク質と協働して PCP や FCP に相当する超分子複合体を形成し、且つ、これらのカロテノイドと異なった ICT 準位の性質を示す分子の開発が必要である。そのような分子として、3次元構造も含め極めて類似した構造を持つデオキシペリジニン類縁体 A を設計し、この分子の効率よい立体化学を制御した合成を行った (Fig. 5)。

① 両方向に伸長可能な新規 C5 ビルディングブロック B の開発：デオキシペリジニン類縁体 A 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、E- $\beta$ -エチニル- $\alpha$ -スタニルアクリレート誘導体 B を設定し、この分子の合成を行った。分子 B はエチニル基とスズ基を有するため、この官能基において両方向への炭素鎖の伸長が可能である。この分子の効率よい合成方法を検討したところ、幸運にもエチルプロピオレートに対するアンチ選択的なエチニルスズ化反応を見出し、分子 B のワンポット合成を実現した (Fig. 4)。また併せて、ビニルヨウ素とビニルホウ素を持つ新規 C5 ビルディングブロック C (Fig. 5) のオレフィクロスメタセシスを用いた合成法も開発した。

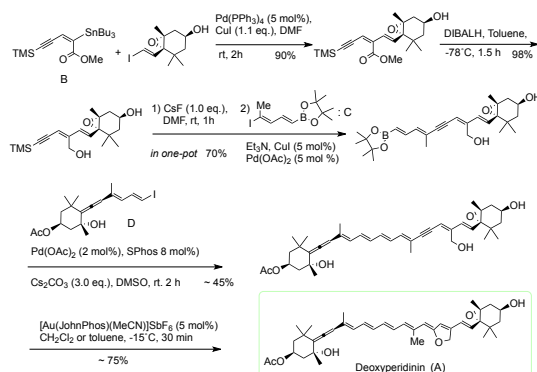
Fig. 4



② デオキシペリジニン A の効率よい合成の達成 (Fig. 5)：デオキシペリジニン A には芳香環化し易いジヒドロフラン環が存在するため、この官能基を最終段階で形成させる必要が有る。そこで、開発した新規な 2 つの両官能性ビルディングブロックを用い、sp<sup>2</sup> および sp カップリングを順次繰り返すことにより、デオキシペリジニンの立体化学を制御した合成を達成した。すなわち、E- $\beta$ -エチニル- $\alpha$ -スタニルアクリレート誘導体 B に対し、一端を構成する 6 員環エポキシビニルヨウ素化合物との Stille カップリングを行い、続いて新たに開発したボロン酸エステル基を持つ C5 ビニルヨウ素化合物 C との菌頭カップリング、さらに別途合成した他端を構成するアレン結合を持つビニルヨウ素化合物 D との鈴木カッ

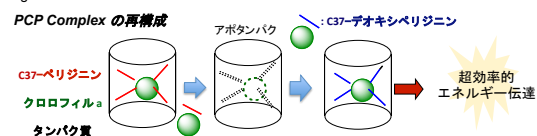
プリングを順次実現させ、基本骨格の合成に成功した。次いで、金触媒による立体選択的なジヒドロフラン環形成を実現させ、目的とするデオキシペリジニン **A** の効率よい合成に成功した。この合成法は、新たなシントンの開発により非常に効率の良いものとなり、相当する天然物およびその類縁体合成に威力を発揮するものと期待される。

Fig. 5 Total Synthesis of Deoxyperidinin



③ 超分子複合体の再構成の試み：次に、合成したデオキシペリジニン **A**、PCP を構成するアポタンパク、クロロフィル *a* を用い、同様な超分子複合体の再構成を検討した。様々な条件の下に検討したが (Fig. 6)、残念ながらこの再構成には成功しなかった。我々はこれまでに、ペリジニンの共役鎖長、アレン結合、ブテノリド環の位置、ブテノリド環をエステルとオレフィンに開環し変形させた類縁体などを合成し、同様な超分子複合体の再構成を検討したが、いずれも成功に至っていない。これらの結果から、数十億年かけて獲得された PCP 複合体は、極めて厳密な構造的制約の基に成り立っていることが強く示唆される。

Fig. 6



## 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 7 件)

1. Spectroscopic Investigation of the Carotenoid Deoxyperidin: Direct Observation of the Forbidden S<sub>0</sub> → S<sub>1</sub> Transition, J. A. Greco, I. A. M. LaFountain, I. 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*, in press. 査読あり  
10.1021/acs.jpcc.6b00439

2. Preparation of *E*- $\alpha$ -Stannyl- $\beta$ -trimethylsilylethynylacrylate, 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  
10.106/j.tetlet.2015.11.079

3. 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  
<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00092614>

4. Elucidation and Control of an Intramolecular Charge Transfer Property of Fucoxanthin by a Modification of Its Polyene Chain Length. Kosumi, D.; Kajikawa T.; Okumura, S.; Sugisaki, M.; Sakaguchi, K.; Katsumura, S.; Hashimoto, H., *J. Phys. Chem. Lett.* **2014**, *5*, 792-797. 査読あり  
10.1021/jz50002871

5. Excited state properties of a short  $\pi$ -electron conjugated peridin analog. Magdaong, N. M.; Niedzwiedzki, D. M.; Greco, J. A.; Liu, H.; Yano, K.; Kajikawa, T.; Sakaguchi, K.; Katsumura, S.; Birge R. R.; Frank, H. A. *Chem. Phys. Lett.* **2014**, *593*, 132-139. 査読あり  
<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00092614>

6. Straightforward synthesis of fucoxanthin short-chain derivatives via modified-Julia olefination. Okumura, S.; Kajikawa, T.; Yano, K.; Sakaguchi, K.; Kosumi, D.; Hashimoto, H.; Katsumura, S., *Tetrahedron Lett.* **2014**, *55*, 407-410. 査読あり  
10.106/j.tetlet.2013.11.043

7. Excited States Energies and Dynamics of Peridin Analogues and the Nature of the Intramolecular Charge Transfer (ICT) State in Carbonyl-Containing Carotenoids. Dariusz, N.; Kajikawa, T.; Aoki, K.; Katsumura, S.; Frank, H. *J. Phys. Chem. B* **2013**, *117*, 6874-6887. 査読あり  
10.1021/jp400038k

〔学会発表〕 (計 27 件)

1. 天然物合成の魔力に40年、勝村成雄、理

研シンポジウム、大阪大学会館講堂(大阪、豊中市) 2013年5月31日

2. 天然物合成の魔力に40年勝村成雄、関西創農薬研究会、住友化学宝塚 健康・農薬研究所(兵庫、宝塚市) 2013年9月20日

3. T. Kajikawa, K. Yano, S. Hananoki, S. Hasegawa, K. Sakaguchi, T. Shinada, S. Katsumura, Polyfunctional Carotenoid Synthesis via One-pot Strategy: Toward Elucidation of Energy Transfer Process in Marine Photosynthesis, The Eighth International Symposium on Integrated Synthesis (ISIS-8), November 29-December 1, 2013, Todaiji Museum (Nara City, Nara, Japan)

4. 天然物合成の魔力に40年、機能解明に向けた有機合成からのアプローチ、勝村成雄、平成25年度 徳島文理大学薬学部学術講演会、徳島文理大学キャンパス(徳島、徳島市) 2013年12月19日

5. 矢野恒記、梶川敬之、奥村聡、小澄大輔、橋本秀樹、Frank H. A.、坂口和彦、品田哲郎、勝村成雄、ペリジニンおよびフコキサンチン類縁体の合成と光合成を担うエネルギー準位の性質、第57回テルペンおよび精油化学に関する討論会、第57回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会、埼玉大学キャンパス(埼玉、さいたま市) 2013年10月5-7日

6. 梶川 敬之・矢野 恒記・小澄 大輔・橋本 秀樹・FRANK H. A.・坂口 和彦・木梨尚人・品田 哲郎・勝村 成雄、ペリジニン、フコキサンチン類縁体合成と光合成を担うエネルギー準位の性質、日本化学会第94春季年会、名古屋大学キャンパス(名古屋、名古屋市) 2014年3月27-30日

7. 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ニ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

8. 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

9. 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

10. N. Kinashi, T. Kajikawa, K. Yano, S. Hananoki, S. Hasegawa, D. Kosumi, H. Hashimoto, H. A. Frank, K. Sakaguchi, T. Shinada, S. Katsumura, Polyfunctional Carotenoid Synthesis via One-pot Strategy: Toward Elucidation of Energy Transfer Process in Marine Photosynthesis, The 2013 OCARINA Annual International Meeting, March 4-5, 2014, Osaka City University, Media Center (Osaka, Osaka City)

11. Y. Yano, N. Kinashi, H. Hashimoto, D. Kosumi, K. Sakaguchi, T. Shinada, S. Katsumura, Development of bifunctional C5 unit for the synthesis of carotenoids: Synthetic study of paracentron, The 2013 OCARINA Annual International Meeting, March 4-5, 2014, Osaka City University, Media Center (Osaka, Osaka City)

12. 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, Japan)

13. 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)

14. 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)

15. 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)

16. 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)

17. 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

18. 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

19. 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、共役ケトンを有する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

20. 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

21. 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)

22. 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, Japan)

23. 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

24. 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)

25. 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

26. 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

27. 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

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

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

##### (2) 研究分担者

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

##### (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