

平成21年5月21日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2006年度～2008年度
 課題番号：18350067
 研究課題名（和文） エネルギー勾配に逆らった励起子伝達の機構解明とその応用
 研究課題名（英文） Study on mechanism of up-hill energy transfer in photosynthetic systems and its application
 研究代表者
 秋本 誠志（AKIMOTO SEIJI）
 神戸大学・分子フォトサイエンス研究センター・准教授
 研究者番号：40250477

研究成果の概要：太陽光から得たエネルギーを電子の流れへと変換を行う光合成反応中心、および、その周りに存在する色素タンパク質では、巧みに色素分子が配列され、エネルギーの流れの制御がなされている。本研究では、反応中心が必要とするエネルギーより低いエネルギーを持つ色素に着目し、（1）様々な光合成色素タンパク質に存在する低エネルギー色素の同定、（2）低エネルギー色素の光合成における機能、（3）低エネルギー色素の発現法、について考察した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	12,200,000	1,515,000	13,715,000
2007年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	15,800,000	2,595,000	18,395,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・機能物質化学

キーワード：時間分解、蛍光、光合成、カロテノイド、クロロフィル、タンパク質、偏光

1. 研究開始当初の背景

一連の植物光合成反応における初期過程は、構成色素分子の光励起に伴う励起エネルギー移動過程と電子移動過程である。近年、太陽光を利用したエネルギー開発の観点から、人工光合成系の構築を目指し、励起エネルギー伝達系・電子伝達系のモデル設計がなされている。このような人工分子配列系を設計する際に基本となる理論的背景は、例えば、励起エネルギー移動伝達系では、フェルスター機構やデクスター機構である。しかし、実際の植物光合成系では従来の理論からの予測に反する現象が次々に観測されつつあり、これら諸現象の本質や重要性についての理

解を深めると共に、実際に人工分子配列系に応用することが望まれる。

2. 研究の目的

光エネルギーを捕集し反応中心へと励起エネルギーを伝達するアンテナ色素タンパク質の中には、反応中心の初発電子供与体の遷移エネルギーよりも低い遷移エネルギーしか持たないもの（レッドクロロフィル）が存在し、すぐには利用されない余分な光エネルギーを一時貯蔵する機能を有すると考えられている。必要に応じて、レッドクロロフィルからスペシャルペアへのエネルギー移動が起こると予想されているが、この過程は

常識に反し、低エネルギー側から高エネルギー側へと起こることになる。本研究では、このエネルギー勾配に逆らった励起エネルギー移動に着目し、光合成の励起エネルギー伝達系（アンテナ色素タンパク質複合体）における光捕集および光エネルギー貯蔵機構を解明すると共に、人工分子配列系において積極的に再現し利用するための条件（構成色素の選択・配置、等）を見いだすことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究における基本的な実験は、分子配列系に取り込まれた各分子から発せられる蛍光について、強度、偏光情報、スペクトルの時間変化をピコ秒時間分解蛍光分光法、および、フェムト秒時間分解蛍光分光法により観測を行うことにある。ピコ秒時間分解蛍光観測システムについては、分光器、時間相関シングルフォトンカウンティングモジュールを購入し、本研究に特化したシステムを制作した。また、フェムト秒領域の測定には、ミラー、光学フィルター等の光学部品、電子部品、を新たに購入し、蛍光アップコンバージョン法を用いた観測システムを新たに製作した。

4. 研究成果

(1) クロロフィルによるエネルギー伝達

遅延蛍光は反応中心における電荷再結合過程を反映し、初発電子供与体から発せられることが知られている。高等植物ホウレンソウ（クロロフィル *a* が主要色素）、シアノバクテリア *Synechocystis sp.* PCC 6803（クロロフィル *a* が主要色素）、および、シアノバクテリア *Acaryochloris marina*（クロロフィル *d* が主要色素）の光化学系 II における遅延蛍光の観測を行った。いずれの光合成生物においても、遅延蛍光は 680 nm 近辺のクロロフィル *a* 蛍光から観測され、初発電子供与体はクロロフィル *a* であることがわかった。近くにより低いエネルギーを持つクロロフィルが存在するにも関わらず、初発電子供与体に励起エネルギーが留まっており、エネルギー移動の制御が行われていることが示唆された。

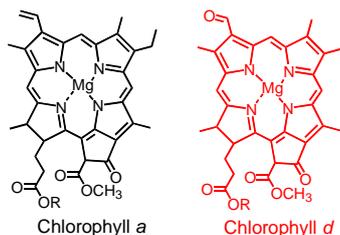


図1 クロロフィル (Rはフィチル基)。

Synechocystis sp. PCC 6803 の光化学系 II 反応中心、*Synechocystis sp.* PCC 6803 の CP43 欠落株、および、*Acaryochloris marina* MBIC 11017 の光化学系 I 粒子における励起緩和ダイナミクスの観測を行った。クロロフィル *a* で構成される光化学系の反応中心や低エネルギークロロフィルが関与する電子伝達・励起エネルギー伝達を考察した。また、クロロフィル *d* で構成される光化学系 I の低エネルギークロロフィルから発せられる蛍光シグナルを同定した。

(2) フィコビリゾームによるエネルギー伝達

始原的シアノバクテリア *Gloeobacter violaceus* が持つ特殊な配置を持つフィコビリゾームにおけるエネルギー移動過程について検討した。ユニット間にエネルギートラップとなる色素が存在し、フィコビリゾーム全体でのエネルギー効率が低下していることがわかった。

(3) カロテノイドによるエネルギー伝達

緑藻ミルの色素タンパク複合体 LHC II が持つ吸収帯の同定を行った。タンパク質中では、カロテノイドの一種、シフォナキササンチンが、高等植物が持つカロテノイド、ルテインが吸収する光より低エネルギーの緑色光を吸収する機能を持つことがわかった。エネルギー移動過程は、励起波長依存性を示す結果が得られた。

溶液中におけるシフォナキササンチンの励起緩和ダイナミクスを観測した。シフォナキササンチンのケトカルボニル基が溶媒と水素結合をすることにより緑色光を吸収する機能を持つこと、クロロフィルへのエネルギー移動過程がシフォナキササンチンの最低励起電子状態の振動励起状態から起こりえることがわかった。

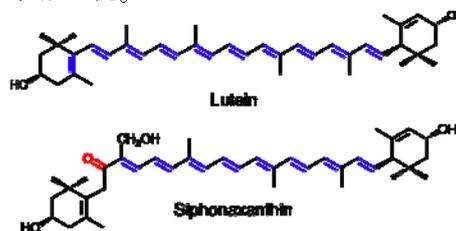


図2 高等植物がもつカロテノイド (Lutein) と緑藻が持つカロテノイド (Siphonaxanthin)。

(4) 低エネルギークロロフィルによるエネルギートラップと環境適応

常緑樹イチイにおけるエネルギー移動過程の季節変化について考察した。光合成が盛んに行われている夏から秋にかけては、低エ

エネルギークロロフィルからの蛍光が強く、氷点下となり光合成の行われない真冬ではこの蛍光が弱かった。生育温度に応じて、太陽光エネルギー捕集および過剰エネルギーの失活の調整が行われていることが確認された。

(5) 人工分子配列系の構築

亜鉛テトラフェニルポルフィリン- β -デキストリン連結分子に着目し、水とエタノールの混合溶媒に溶解させることにより、分子配列系の構築を試みた。高濃度にするによりポルフィリンの吸収帯の低エネルギー領域に新たな吸収を生じさせ、光エネルギーの捕集に寄与させることができることがわかった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 12 件)

1. T. Tomo, S. Akimoto, H. Ito, T. Tsuchiya, M. Fukuya, A. Tanaka, M. Mimuro, Replacement of chlorophyll with di-vinyl chlorophyll in the antenna and reaction center complexes of the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803: Characterization of spectral and photochemical properties, *Biochim. Biophys. Acta*, **1787**, 191–200 (2009). 査読有
2. Y. Shimada, T. Tsuchiya, S. Akimoto, T. Tomo, M. Fukuya, K. Tanaka, M. Mimuro, “Spectral properties of the CP43-deletion mutant of *Synechocystis* sp. PCC 6803,” *Photosynthesis Research*, 303–314 (2008). 査読有
3. T. Tomo, S. Akimoto, T. Tsuchiya, M. Fukuya, K. Tanaka, M. Mimuro, “Isolation and spectral characterization of Photosystem II reaction center from *Synechocystis* sp. PCC 6803,” *Photosynthesis Research*, 293–302 (2008). 査読有
4. S. Akimoto, M. Yokono, M. Higuchi, T. Tomo, S. Takaichi, A. Murakami, M. Mimuro, “Solvent effects on excitation relaxation dynamics of a keto-carotenoid, siphonaxanthin,” *Photochem. Photobiol. Sci.*, **7**, 1206–1209 (2008). 査読有
5. K. Koyama, H. Suzuki, T. Noguchi, S. Akimoto, T. Tsuchiya, M. Mimuro, “Oxygen evolution in the thylakoid-lacking cyanobacterium *Gloeobacter violaceus* PCC 7421,” *Biochim. Biophys. Acta*, **1777**, 369–378 (2008). 査読有
6. M. Yokono, S. Akimoto, A. Tanaka, “Seasonal changes of excitation energy transfer and thylakoid stacking in the evergreen tree *Taxus cuspidata*: how does it

divert excess energy from photosynthetic reaction center?”, *Biochim. Biophys. Acta*, **1777**, 379–387 (2008). 査読有

7. M. Yokono, S. Akimoto, K. Koyama, T. Tsuchiya, M. Mimuro, “Energy transfer processes in *Gloeobacter violaceus* PCC 7421 that possesses phycobilisomes with a unique morphology”, *Biochim. Biophys. Acta*, **1777**, 55–65 (2008). 査読有
8. T. Tomo, Y. Kato, T. Suzuki, S. Akimoto, T. Okubo, T. Noguchi, K. Hasegawa, T. Tsuchiya, K. Tanaka, M. Fukuya, N. Dohmae, T. Watanabe, M. Mimuro, “Characterization of highly-purified photosystem I complexes from the chlorophyll *d*-dominated cyanobacterium *Acaryochloris marina*, MBIC 11017”, *J. Biol. Chem.*, **283**, 18198–18209 (2008). 査読有
9. S. Akimoto, M. Mimuro, “Application of time-resolved polarization fluorescence spectroscopy in the femtosecond range to photosynthetic systems.” (Review article invited in part of the Symposium-in-Print: Photobiology in Asia), *Photochem. Photobiol.*, **83**, 163–170 (2007). 査読有
10. T. Tomo, T. Okubo, S. Akimoto, M. Yokono, H. Miyashita, T. Tsuchiya, T. Noguchi, *M. Mimuro, “Identification of the special pair of photosystem II in a chlorophyll *d*-dominated cyanobacterium”, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **104**, 7283–7288 (2007). 査読有
11. M. Mimuro, S. Akimoto, T. Tomo, M. Yokono, H. Miyashita, T. Tsuchiya, “Delayed fluorescence observed in the nanosecond time region at 77K originates directly from the photosystem II reaction center”, *Biochim. Biophys. Acta*, **1767**, 327–334 (2007). 査読有
12. S. Akimoto, T. Tomo, Y. Naitoh, A. Otomo, A. Murakami, M. Mimuro, “Identification of a new excited state responsible for the in vivo absorption band of siphonaxanthin in the green alga *Codium fragile*”, *J. Phys. Chem. B* **111**, 9179–9181 (2007). 査読有

[学会発表] (計 4 1 件)

1. 鞆達也, 秋本誠志, 土屋徹, 福谷通孝, 田中一徳, 三室守, 「*Synechocystis* sp. PCC 6803 からの光化学系 II 反応中心複合体の単離と分光特性の解析」、第 50 回日本植物生理学会年会、名古屋 (2009 年 3 月 21–23 日)。
2. 福谷通孝、内田博子、村上明男、秋本誠志、「クロロフィル *d* 型ラン藻 *Acaryochloris* sp. strain Awaji における励

- 起エネルギー移動」、若手フロンティア研究会、神戸（2008年12月24日）。
3. 田中一徳、飯田聡子、村上明男、秋本誠志、「77 Kにおける渦鞭毛藻の超高速時間分解蛍光」、若手フロンティア研究会、神戸（2008年12月24日）。
 4. 田中一徳、飯田聡子、横野牧生、小檜山篤志、緒方武比古、村上明男、秋本誠志、「渦鞭毛藻 *Alexandrium tamarense* における光エネルギー捕集とエネルギー移動」、2008年光化学討論会、大阪（2008年9月13日）。
 5. 福谷通孝、内田博子、横野牧生、村上明男、秋本誠志、「クロロフィル *d* を特異的に有するアカリオクロリス・アワジ株における励起エネルギー移動」、2008年光化学討論会、大阪（2008年9月13日）。
 6. T. Kiba, K. Hosokawa, H. Suzuki, S. Akimoto, T. Kakuchi, S. Sato, “Supramolecular J-aggregate Assembly of β -Cyclodextrin Linked Zinc Porphyrin Conjugates in Water/Ethanol Binary Mixture”, XXIInd IUPAC Symposium on Photochemistry, Gothenburg, Sweden (July 31, 2008).
 7. 福谷通孝、内田博子、横野牧生、村上明男、秋本誠志、「*Acaryochloris* sp. strain Awaji の光環境応答、第16回光合成の色素系と反応中心に関するセミナー」、京都（2008年6月15日）。
 8. 鞆達也、加藤祐樹、鈴木健裕、秋本誠志、野口巧、土屋徹、堂前直、渡辺正、三室守、「*Acaryochloris marina* の光化学系Iの性質について」、第16回光合成の色素系と反応中心に関するセミナー、京都（2008年6月15日）。
 9. 横野牧生、秋本誠志、田中歩、「常緑樹イチイにおける励起エネルギー緩和の季節変化」、第16回光合成の色素系と反応中心に関するセミナー、京都（2008年6月15日）。
 10. 田中一徳、飯田聡子、横野牧生、小檜山篤志、緒方武比古、村上明男、秋本誠志、「渦鞭毛藻 *Alexandrium tamarense* の蛍光特性、第16回光合成の色素系と反応中心に関するセミナー」、京都（2008年6月14日）。
 11. T. Kiba, H. Suzuki, K. Hosokawa, S. Akimoto, T. Kakuchi, S. Sato, “Photoinduced Electron Transfer and Aggregation Behaviour of a Zinc Porphyrin- β -Cyclodextrin Conjugates”, 14th International Cyclodextrins Symposium (CD 2008), Kyoto, Japan (May 9, 2008).
 12. 鞆達也、加藤祐樹、鈴木健裕、秋本誠志、野口巧、土屋徹、堂前直、渡辺正、三室守、「クロロフィル *d* を主要色素としてもつシアノバクテリアの光化学系Iのサブユニット組成と光化学反応の解析」、第49回日本植物生理学会年会、札幌（2008年3月20-22日）。
 13. 嶋田友一郎、土屋徹、秋本誠志、田中一徳、福谷通孝、鞆達也、三室守、「光化学系 II-CP43 欠損株における蛍光特性」、第49回日本植物生理学会年会、札幌（2008年3月20-22日）。
 14. S. Akimoto, M. Mimuro, “Excitation relaxation of carotenoids probed by time-resolved fluorescence spectroscopy”, Trombay Symposium on Radiation and Photochemistry, Mumbai, India (January 9, 2008). 招待講演
 15. S. Akimoto, M. Yokono, T. Tomo, A. Murakami, M. Mimuro, “Excited state dynamics and functions of carotenoids in the light-harvesting complexes II”, 7th International Conference on Tetrapyrrole Photoreceptors in Photosynthetic Organisms, Kyoto, Japan (December 10-11, 2007).
 16. T. Tomo, Y. Kato, S. Akimoto, T. Noguchi, T. Tsuchiya, T. Watanabe, M. Mimuro, “The characterization of Photosystem I and II in a chlorophyll *d* -dominated cyanobacterium”, 7th International Conference on Tetrapyrrole Photoreceptors in Photosynthetic Organisms, Kyoto, Japan (December 11, 2007).
 17. M. Mimuro, T. Tomo, T. Tsuchiya, T. Ohkubo, T. Noguchi, S. Akimoto, “Components and photochemical reactions in photosystem II of the Chl *d* -dominated cyanobacterium, *Acaryochloris marina*”, 7th International Conference on Tetrapyrrole Photoreceptors in Photosynthetic Organisms, Kyoto, Japan (December 13, 2007).
 18. 木場隆之、秋本誠志、笠嶋辰也、佐藤信一郎、「S₁ペリレンにおける振動緩和速度の溶媒依存性」、分子科学討論会 2007、仙台（2007年9月17日）。
 19. S. Akimoto, M. Yokono, M. Higuchi, A. Murakami, S. Takaichi, M. Mimuro, “Ultrafast relaxation dynamics of a keto-carotenoid, siphonaxanthin, probed by time-resolved fluorescence”, PS07 the 14th International Congress of Photosynthesis, Glasgow, UK (July 24, 2007).
 20. M. Mimuro, M. Higuchi, H. Inoue, M. Yokono, T. Tsuchiya, H. Miyashita, S. Akimoto, “Excitation energy transfer in PS I of the cyanobacterium *Gloeobacter*

- violaceus* PCC 7421 that lacks the long-wavelength form of chlorophyll *a*”, PS07 the 14th International Congress of Photosynthesis, Glasgow, UK (July 24, 2007).
21. T. Tsuchiya, T. Tomo, S. Akimoto, A. Murakami, M. Mimuro, “Unique optical properties of LHC II isolated from *Codium fragile* - its correlation to protein environment”, PS07 the 14th International Congress of Photosynthesis, Glasgow, UK (July 24, 2007).
 22. T. Tomo, T. Okubo, S. Akimoto, H. Miyashita, T. Tsuchiya, T. Noguchi, M. Mimuro, “Identification of special pair and Chl_z of Photosystem II in *Acaryochloris marina*”, PS07 the 14th International Congress of Photosynthesis, Glasgow, UK (July 24, 2007).
 23. 軈達也、大久保辰則、秋本誠志、横野牧生、土屋徹、宮下英明、野口巧、三室守、「*Acaryochloris marina* の光化学系 II 反応中心色素の同定」、第 15 回光合成の色素系と反応中心に関するセミナー、京都 (2007 年 7 月 1 日)。
 24. 秋本誠志、三室守、「ケトカロテノイドの電子励起状態に関する考察」、第 15 回光合成の色素系と反応中心に関するセミナー、京都 (2007 年 7 月 1 日)。
 25. 秋本誠志、「時間分解蛍光分光法によるカロテノイドの励起緩和ダイナミクスの観測」、第 123 回物理化学セミナー、神戸 (2007 年 6 月 16 日)。招待講演
 26. 秋本誠志、村井陽介、横野牧生、村上明男、高市真一、樋口倫也、軈達也、三室守、「溶液中におけるケトカロテノイドの超高速励起緩和」、第 23 回化学反応討論会、神戸 (2007 年 6 月 13 日)。
 27. 軈達也、大久保辰則、秋本誠志、横野牧生、土屋徹、野口巧、宮下英明、三室守、「クロロフィル *d* を主要色素としてもつシアノバクテリアの光化学系 II 複合体の単離精製」、第 48 回日本植物生理学会年会、松山 (2007 年 3 月 28-30 日)。
 28. 横野牧生、秋本誠志、岸本純子、田中歩、「常緑樹イチイにおける励起エネルギー移動過程の季節変化」、第 48 回日本植物生理学会年会、松山 (2007 年 3 月 28-30 日)。
 29. 木場隆之、佐藤信一郎、笠嶋辰也、仁戸部 覚、秋本誠志、覚知豊次、「シクロデキストリン包接によるサイズ選択的なゲスト分子の吸収・蛍光スペクトル尖鋭化」、日本化学会北海道支部 2007 年冬季研究発表会、札幌 (2007 年 2 月 7 日)。
 30. 村井陽介、横野牧生、秋本誠志、村上明男、高市真一、樋口倫也、三室 守、「溶液中におけるシフォナキサンチンの励起緩和過程」、日本化学会北海道支部 2007 年冬季研究発表会、札幌 (2007 年 2 月 7 日)。
 31. S. Akimoto, M. Mimuro, “Recent progress on the light-harvesting systems of photosystem II in terms of time-resolved fluorescence spectroscopy”, 3rd Asia and Oceania Conference on Photobiology (AOCP), Beijing, China (November 19, 2006). 招待講演
 32. M. Yokono, S. Akimoto, K. Koyama, T. Tsuchiya, H. Miyashita, M. Mimuro, “Energy transfer dynamics in phycobilisomes of *Gloeobacter violaceus* PCC 7421”, 3rd Asia and Oceania Conference on Photobiology (AOCP), Beijing, China (November 19, 2006).
 33. K. Koyama, T. Tsuchiya, S. Akimoto, M. Yokono, H. Miyashita, M. Mimuro, “A New Morphology of Phycobilisomes Isolated From *Gloeobacter violaceus* PCC 7421”, 3rd Asia and Oceania Conference on Photobiology (AOCP), Beijing, China (November 19, 2006).
 34. 木場隆之、笠嶋辰也、秋本誠志、中野環、覚知豊次、佐藤信一郎、「シクロデキストリン・ナノキャビティ包接による分子波動関数の保護 - ホスト-ゲストサイズ依存性」、分子構造総合討論会 2006、静岡 (2006 年 9 月 21 日)。
 35. 仁戸部覚、木場隆之、秋本誠志、中野環、覚知豊次、佐藤信一郎、「アントラセン誘導体とシクロデキストリン包接錯体の構造とダイナミクス」、分子構造総合討論会 2006、静岡 (2006 年 9 月 21 日)。
 36. 細川清正、三浦裕、秋本誠志、中野環、覚知豊次、佐藤信一郎、「ポルフィリン連結シクロデキストリン-アントラセン誘導体の励起エネルギー移動」、2006 年光化学討論会、仙台 (2006 年 9 月 11 日)。
 37. 小山公平、土屋徹、秋本誠志、横野牧生、宮下英明、三室 守、「*Gloeobacter violaceus* PCC 7421 の新しいフィコビリソーム構造」、光合成の色素系と反応中心に関するセミナーXIV、京都(2006 年 6 月 25 日)。
 38. 横野牧生、秋本誠志、小山公平、土屋徹、宮下英明、三室守、「*Gloeobacter violaceus* PCC 7421 におけるエネルギー移動過程の解析」、光合成の色素系と反応中心に関するセミナーXIV、京都 (2006 年 6 月 25 日)。
 39. 三室守、井上英俊、樋口倫也、秋本誠志、

- 横野牧生、土屋徹、宮下 英明、「シアノバクテリア、*Gloeobacter violaceus* PCC 7421 から分離した光化学系 I 粒子の分光学的特性」、光合成の色素系と反応中心に関するセミナーXIV、京都（2006年6月25日）。
40. 秋本誠志、「時間分解蛍光分光法：測定の原理と光合成系への応用」、光合成の色素系と反応中心に関するセミナーXIV、京都（2006年6月24日）。招待講演
41. 鈴木広樹、村井陽介、秋本誠志、佐藤信一郎、中野環、鞆達也、三室 守、「アスタキサンチンにおける超高速励起緩和過程の解析」、光合成の色素系と反応中心に関するセミナーXIV、京都（2006年6月24日）。

〔図書〕（計8件）

1. 秋本誠志、光合成研究法（編集：田中歩）4章2.a. 蛍光、低温科学、67、pp. 449–452（2009）。
2. T. Tomo, T. Okubo, S. Akimoto, H. Miyashita, T. Tsuchiya, T. Noguchi, M. Mimuro, “Identification of the special pair and Chl_z of Photosystem II in *Acaryochloris marina*”, in J. Allen, E. Gantt, J. Golbeck, B. Osmond (eds.), "Photosynthesis. Energy from the sun", Springer, Dordrecht, Nederland, p.p. 223–226 (2008).
3. M. Mimuro, M. Higuchi, H. Inoue, M. Yokono, T. Tsuchiya, H. Miyashita, S. Akimoto, “Excitation energy transfer in PS I of the cyanobacterium *Gloeobacter violaceus* PCC 7421 that lacks the long-wavelength form of chlorophyll *a*”, in J. Allen, E. Gantt, J. Golbeck, B. Osmond (eds.), "Photosynthesis. Energy from the sun", Springer, Dordrecht, Nederland, p.p. 299–302 (2008).
4. S. Akimoto, M. Yokono, M. Higuchi, A. Murakami, S. Takaichi, M. Mimuro, “Ultrafast relaxation dynamics of a keto-carotenoid, siphonaxanthin, probed by time-resolved fluorescence”, in J. Allen, E. Gantt, J. Golbeck, B. Osmond (eds.), "Photosynthesis. Energy from the sun", Springer, Dordrecht, Nederland, p.p. 319–322 (2008).
5. T. Tsuchiya, T. Tomo, S. Akimoto, A. Murakami, M. Mimuro, “Unique optical properties of LHC II isolated from *Codium fragile* – its correlation to protein environment”, in J. Allen, E. Gantt, J. Golbeck, B. Osmond (eds.), "Photosynthesis. Energy from the sun", Springer, Dordrecht, Nederland, p.p. 343–346 (2008).
6. M. Yokono, M. Iwai, S. Akimoto, J.

- Minagawa, “Simulation of excitation energy transfer within the PSI-LHCI/II supercomplex from *Chlamydomonas reinhardtii*”, in J. Allen, E. Gantt, J. Golbeck, B. Osmond (eds.), "Photosynthesis. Energy from the sun", Springer, Dordrecht, Nederland, p.p. 1027–1030 (2008).
7. T. Kiba, H. Suzuki, K. Hosokawa, S. Akimoto, T. Kakuchi, and S. Sato, “Photoinduced electron transfer and aggregation behaviour of zinc porphyrin-β-cyclodextrin conjugates”, Proceedings of the 14th International Cyclodextrins Symposium, p.p. 201–204 (2008).
 8. S. Akimoto, M. Mimuro, “Excitation relaxation of carotenoids probed by time-resolved fluorescence spectroscopy”, Proceedings of TSRP (Trombay Symposium on Radiation and Photochemistry) 2008 (ISBN No: 81-88513-25-3), R. V. Enterprise, Mumbai, India, p.p. 68–69 (2008).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

秋本 誠志 (AKIMOTO SEIJI)
神戸大学・分子フォトサイエンス研究センター・准教授
研究者番号：40250477

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし