

タイトル	相川雅之教授の停年退職挨拶並びに略歴・業績等
著者	相川，雅之；AIKAWA, Masayuki
引用	AN10340239(147)： 5-14
発行日	2011-03-25

実験化学者の発想

相 川 雅 之

(1) レザーフォトリシス

若いころより有機光化学の第一人者として活躍してこられた Columbia University の Nicholas J. Turro 教授は 1998 年に “Inter-American Photochemical Society Newsletter” Vol. 21(2) に教授自身の長文の回顧録を書きました。タイトルは “Skating On the Edge of the Paradigm” でした。これは光化学者にとりましては大変含蓄に富んでいるものでしたので他の文献にも全文掲載されました（たとえば, The Spectrum, Vol.12. Issue 1, (1999) など）。この中で私（相川）のことがしばしば紹介されているのでこの文章を引用しながら、私の興味の対象となったこと等書き綴ってみます。

Supramolecular Photochemistry and Spin Effects on Photochemical Reactions.

The 1980s ushered in the era of laser flash photolysis. **Jed Butcher and M. Aikawa** set up the first system on the 9th floor of Haverneyer in Rich Bersohn’s lab. I bought an excimer laser, but shared it with Rich. When it fired to the South, the laser was the photolysis pulse for a solution flash photolysis experiment with optical detection. When it fired to the North, the laser was the photolysis pulse for a gas phase experiment with mass spectrometric detection. Ian Gould joined the group in 1981 and became my laser guru along with graduate student Matt Zimmt. Soon we returned the excimer laser to Rich Bersohn full-time and set two nanosecond flash photolysis instruments on the 7th floor of Chandler.

1979 年の後半になって、私はエキシマーレーザーなるものと出くわしました。強力なエネルギーを放出するパルスレーザーで、ドイツの Lamda Physik 社が最初に売り出したものでした。工場はニュージャージーにありました。当時 Turro 教授は研究費が潤沢というわけではなかったようで Rich Bersohn 教授とこのエキシマーレーザーを共同購入しました。一般にレーザーは長い筒の中にレーザー発振をする物体を入れ外部から刺激を与えると発光します。この光を筒の両面

に配置された鏡で共振させると分子数反転という現象が生じてレーザー発振が起こります。両側の鏡の外側にはキャップがしてありどちらかのキャップをはずすとその方向にレーザー光が射出します。このレーザー装置を実験室の南北に置き南側のキャップをはずすと Rich Bersohn 教授の計画している分子線の実験に使うことができ、また、北側のキャップをはずすと私と後輩の Jed Butcher が作り上げたナノ秒の閃光分光装置に使えるようにしました。その後、2号機、3号機のエキシマーレーザーを自前で購入しました。これにより、このレーザーと電子スピン共鳴(ESR)の装置を結び付けるなどして実験の範囲は大幅に広がることになりました。ただし、エキシマーレーザーはエネルギーは大きいのですが、本当の意味でのレーザー光線ではないので光の質という点では劣ります。同じころ私たちの分野でよく使われ始めたのは NdYAG レーザーでしたが、現在ではチタン-サファイアレーザーが主流のようです。なおここで述べたレーザー光は分光光学に使われるパルスレーザーに限定して述べています。

(2) 光子計数分光法

ある物質が過剰なエネルギーを外部から与えられると物質は励起状態へと遷移しますが、何らかのプロセスで外部に過剰エネルギーを放出して基底状態へもどります。このプロセスには輻射遷移と無輻射遷移があります。無輻射遷移は私たちは知り得ませんので、輻射過程を調べることで物質の構造や変化を調べることになります。輻射過程には蛍光とりん光とがあります。閃光照射後の振る舞いのある波長について写真乾板上でその減衰時間を測定することで調べておりましたがこの方法はあまり正確とはいえませんでした。そこで、励起後のある時間に現れる光子の数を積算して発光の振る舞いを調べる方法が考え出されました。もともと私はりん光を専門としましたので、励起後に現れる光子を実時間で調べ積算することによって精度良く測定する方法を考え出しました(相川雅之博士論文)。蛍光現象となると時間変化はずうっと速いので、記憶素子の限界を超えてしまいます。そこで、光子の現れるまでの時間をいったん電圧に変換して測定する方法が考えられました。これが時間-電圧変換方式による蛍光寿命測定装置でありました。この装置についても大学院のときに少し触れたことがありましたが、コロンビア大学ではこの装置を駆使することで複雑な不均一系の現象を次々と暴き出すことができました。

The 1980s. Supramolecular Photochemistry, Micelles, Water Soluble Polymers, DNA, Cyclodextrins. Colloid Chemistry with an Attitude.

During the 1980s, John Bolt performed some beautiful work showing how **Yekta's and Aikawa's theory of micellar dynamics** could be used to determine the rate constants at which labeled surfactants entered and exited micelles. **Aikawa and Yekta** produced a very

useful mathematical formulation for the extraction of rate constants and equilibrium constants from simple experiments employing steady-state or time-resolved fluorescence quenching of molecules adsorbed in micelles. **Aikawa** returned in the 1990s to show he still had the magic touch in the lab after his tenure as Dean in Hokkaido. He was one a series of outstanding Japanese postdocs and visitors with whom I have been privileged to have as colleagues. In addition to those mentioned above there was T. (on/off rates of molecules adsorbed on polyions and cyclodextrins), Y. Inoue (photochemistry of cyclooctene), M. Okamoto (pressure effects on a range of photochemical reactions, together with Wen Sheng Chung), Y. Sato (photochemistry on zeolites). K. Ishiguro (CIDEP of the Quadracyclene radical cation) and Yoshifumi Tanimoto (magnetic effects on reactive intermediates). Sandy and I were treated to a wonderful visit to Japan in Spring 1997 in which our former group members organized a fabulous tour of several cities and then a very special reunion dinner in Tokyo, organized by Inoue, attended by nearly every former Japanese postdoc.

John Bolt にかかわらず多くのコロンビアの研究者たちは Yekta-Aikawa の理論を検証し、また、その理論に従ってミセル系でおこる光化学反応を解析することに成功しました。これには、光子計数法が大いに役立ちました。これらの仕事で私は日本からコロンビア化学科に訪れた研究者のなかでもっともすぐれた共同研究者の一人であると評価を受けました。

(3) パルスラジオリシスと水和電子

電子線加速器 (LINAC) からの線幅の狭い電子線の塊を化学物質に照射して、その後の物質の変化を追う実験方法をパルスラジオリシスと言います。この方法は実験的にはすでに確立されておりました。北海学園大学に赴任してから、ベシクルという物質に興味を持ちました。実験室で作ることの出来る細胞膜だからであります。一方水和電子にも興味を持ちました。LINAC からの電子は大変エネルギーが大きいので溶液系に照射してもそのまま突き抜けてどこかへ行ってしまいます。水溶液系でも同じなのですが電子線の塊に沿ってよりエネルギーの小さな電子が発生し、その電子の周りに水和がおこり電子の安定化が生じるのです。私はこの水和電子に着目しました。電子供与体として考えたのです。利点は、ある電子受容体に電子を与えると電子供与体は跡形も無くなるという優れものと考えたのでした。すなわち、逆電子移動のメカニズムを排除できるのです。ベシクル外水相で生じた水和電子が内水相に配置された電子受容体に膜を隔てて電子が伝達されるか否か、もし伝達されないのであればどのような条件にすれば伝達されるようになるのかでした。膜の厚さを変え、膜間に電子媒体となるいくつかの分子の膜内距離を変えて配置し、パルスラジオリシス法と分光学的手法とを組み合わせることで生体で起こっている電子伝達機構を組み

立てることに成功しました。電子伝達のメカニズムが明らかにできたのでした。

略 歴

学 歴

昭和 42 年 3 月 北海道大学理学部化学第 2 学科卒業

昭和 46 年 4 月 北海道大学大学院理学研究科化学専攻修士課程入学

昭和 48 年 3 月 同 修了

昭和 48 年 4 月 北海道大学大学院理学研究科化学専攻博士後期課程進学

昭和 51 年 3 月 同 修了

学位称号

昭和 42 年 3 月 理学士（北海道大学）

昭和 48 年 3 月 理学修士（北海道大学）

昭和 51 年 6 月 理学博士（北海道大学）学位記番号第 1150 号

職 歴

昭和 42 年 4 月～昭和 45 年 2 月 (株)二葉熱科学研究所勤務

昭和 52 年 9 月～昭和 55 年 8 月 米国コロンビア大学化学科博士研究員

昭和 56 年 5 月～昭和 57 年 3 月 北海学園大学教養部 助教授

昭和 57 年 4 月～平成 10 年 3 月 北海学園大学教養部 教授

平成 10 年 4 月～平成 23 年 3 月 北海学園大学工学部 教授

学会及び社会における活動等

日本化学会会員，アメリカ化学会会員，アメリカ光生物学会会員，日本光化学協会会員

客員教授，公職等

1993 年 6 月～10 月：アメリカ合衆国ネブラスカ大学とコロンビア大学の各客員教授

2003～2004 年：中小企業総合事業団技術委員会副委員長

2006～2008 年：国連環境計画（UNEP）外郭団体 NPO 地球友の会北海道委員会副理事長

2008～現在：国際科学技術財団「日本国際賞」推薦人

研究業績目録

論文等

1. Kinya Unoura, **Masayuki Aikawa**, and Meiseki Katayama, “Isotope Effects on the Hydrogen Formation Reaction in the Radiolysis of Cyclopentanone”; *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, **41(7)**, 1734 (1968)
2. Takeshi Takemura, **Masayuki Aikawa**, and Hiroaki Baba, “Phosphorimetric Investigation of Triplet-Triplet Energy Transfer in Fluid Solution”; *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, **47(10)**, 2476-2481 (1974)
3. **Masayuki Aikawa**, Takeshi Takemura, and Hiroaki Baba, “Triplet Excimer of Phenanthrene in Fluid Solution. Dynamic Analysis of Time-Resolved Phosphorescence”; *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, **49(2)**, 437-441 (1976)
4. Takeshi Takemura, **Masayuki Aikawa**, Hiroaki Baba, and Yoshio Shindo, “Kinetic Study of Triplet Excimer Formation in Fluid Solution by Means of Phosphorimetry”; *Journal of the American Chemical Society*, **98(8)**, 2205-2210 (1976)
5. **Masayuki Aikawa**, “Phosphorimetric Studies on Triplet State of Aromatic Molecules in Fluid Solution”; *Thesis (Hokkaido University)* (1976)
6. Takeshi Takemura, **Masayuki Aikawa**, and Hiroaki Baba, “Phosphorescence from Triplet Excimers of Aromatic Compounds in Fluid Solution”; *Journal of Luminescence*, **12/13**, 819-823 (1976)
7. Masahiro Irie, Takao Kamijo, **Masayuki Aikawa**, Takeshi Takemura, Koichiro Hayashi and Hiroaki Baba, “Absorption and Fluorescence Spectra of the Intramolecular Dimer in Polyvinyl naphthalene”; *The Journal of Physical Chemistry*, **81(16)**, 1571-1574 (1977)
8. **Masayuki Aikawa**, Takeshi Takemura, Hiroaki Baba, Masahiro Irie, and Koichiro Hayashi, “Intramolecular Dimer and Excimer Phosphorescence of Poly (2-Vinylnaphthalene) and Copolymers of 2-Vinylnaphthalene and Phenyl Vinyl Ketone”; *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, **51(12)**, 3643-3644 (1978)
9. N. J. Turro, A. Yekta, and **M. Aikawa**, “Photochemistry and Photophysics in Micelle Forming Detergent Solutions”; *Proceedings 7th IUPAC Symposium on Photochemistry*, 339-342 (1978)
10. Nicholas J. Turro, Masayuki Aikawa, and Ahmad Yekta, “A Comparison of Inter-molecular and Intramolecular Excimer Formation in Detergent Solutions. Temperature Effects and Microviscosity Measurements”; *Journal of the American Chemical Society*, **101(3)**, 772-774 (1979)

11. Ahmad Yekta, **Masayuki Aikawa**, and Nicholas J. Turro, "Photoluminescence Methods for Evaluation of Solubilization Parameter and Dynamics of Micellar Aggregates. Limiting Cases Which Allow Estimation of Partition Coefficients, Aggregation Numbers, Entrance and Exit Rates"; *Chemical Physics Letters*, **63(3)**, 543-548 (1979)
12. Nicholas J. Turro, **Masayuki Aikawa**, and Ahmad Yekta, "Dynamics of Molecular Oxygen in Micellar Solutions"; *Chemical Physics Letters*, **64(3)**, 473-478 (1979)
13. **Masayuki Aikawa**, Ahmad Yekta, and Nicholas J. Turro, "Photoluminescent Probes of Micelle Systems. Cyclic Azoalkanes as Quenchers of 1,5-Dimethylnaphthalene Fluorescence"; *Chemical Physics Letters*, **68(2/3)**, 285-290 (1979)
14. Yoshikazu Kondo, **Masayuki Aikawa**, Takashi Sumiyoshi, Jerzy Kroh, and Meiseki Katayama, "Nanosecond Pulse Radiolysis of Concentrated Alkaline Aqueous Solutions"; *Proceedings. 6th International Congress of Radiation Research.* (1979)
15. Nicholas J. Turro, **Masayuki Aikawa**, and Jared A. Butcher, Jr., "Laser Induced Organic Photochemistry: A Contrast with Conventional "Lamp" Induced Organic Photochemistry"; *Proceedings. Gordon Research Conference on Organic Photochemistry*, (1979)
16. **Masayuki Aikawa**, Takeshi Honna, Takashi Sumiyoshi, and Meiseki Katayama, "On the Reaction Mechanism of the Radiolysis of Aqueous Nicotinamide Adenine Dinucleotide"; *Chemistry Letters*, 247-250 (1980)
17. Nicholas J. Turro and **Masayuki Aikawa**, "Phosphorescence and Delayed Fluorescence of 1-Chloronaphthalene in Micellar Solutions"; *Journal of the American Chemical Society*, **102(15)**, 4866-4870 (1980)
18. Nicholas J. Turro, **Masayuki Aikawa**, Jared A. Butcher, Jr., and Gary W. Griffin, "Organic Photochemistry: The Laser vs. the Lamp. The Behavior of Diphenylcarben Generated at High Light Intensities"; *Journal of the American Chemical Society*. **102(15)**, 5127-5128 (1980)
19. **Masayuki Aikawa**, Ahmad Yekta, Jong-Min Liu and Nicholas J. Turro, "Useful Photoluminescence Probes of Micellar Systems. Cyclic Azoalkanes as Fluorescence Acceptors and 1,5-Dimethylnaphthalen as a Fluorescence Donor"; *Photochemistry and Photobiology*, **32(3)**, 297-303 (1980)
20. Yoshikazu Kondo, **Masayuki Aikawa**, Takashi Sumiyoshi, Meiseki Katayama and Jerzy Kroh, "Nanosecond Pulse Radiolysis Studies on Localized Electrons in Concentrated Alkaline Aqueous Solutions"; *The Journal of Physical Chemistry*, **84(20)**, 2544-2548 (1980)
21. K. B. Eisenthal, N. J. Turro, **M. Aikawa**, J. A. Butcher, Jr., C. Dupuy, G. Hefferon, W. Hetherington and G. Korenowski, "Dynamic and Energetics of the Singlet Triplet

- Interconversion of Diphenylcarben"; *Journal of the American Chemical Society*, **102(21)**, 6563-6565 (1980)
22. Nicholas J. Turro, **Masayuki Aikawa** and Jared A. Butcher, Jr., "Application of Laser Photolysis to the Study of Reactive Intermediate"; *IEEE Journal of Quantum Electronics* **QE-16(11)**, 1218-1222 (1980)
 23. A. M. Braun, M. Krieg, N. J. Turro, **M. Aikawa** and G. A. Graf, "Transient Absorption and Emission Spectra of Benzophenone in Micellar Solutions"; *Proceedings 8th IUPAC Symposium on Photochemistry*, 188 (1980)
 24. Andre M. Braun, Marianne Krieg, Nicholas J. Turro, **M. Aikawa**, I. R. Gould, G. A. Graf, and Plato Chun-Chih Lee, "Photochemical Processes of Benzophenone in Microheterogeneous Systems"; *Journal of the American Chemical Society*, **103(24)**, 7312-7316 (1981)
 25. Nicholas J. Turro, **Masayuki Aikawa**, and I. R. Gould, "The Laser vs. the Lamp: A Novel Laser-Induced Adiabatic Reaction and Luminescence of Benzophenone"; *Journal of the American Chemical Society*, **104(3)**, 856-858 (1982)
 26. Takashi Sumiyoshi, Nobuyuki Miura, **Masayuki Aikawa**, and Meiseki Katayama, "Pulse Radiolysis Studies on Methyl Methylthiomethyl Sulfoxide in Aqueous Solutions"; *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, **55(8)**, 2347-2351 (1982)
 27. **Masayuki Aikawa**, Takashi Sumiyoshi, Nobuyuki Miura, and Meiseki Katayama, "Dynamic Studies on Electron Transport Across Micellar Phase. Intermicellar Migration of Hydrated electrons"; *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, **55(8)**, 2352-2355 (1982)
 28. 相川雅之, 「ミセル凝集系における光化学: 基質の熱力学的平衡と分子動力学」北海学園大学学園論集, 第 43 号, 33-52 (1983)
 29. 相川雅之, 三浦信之, 「人工光合成: 生体二分子層膜中の電子伝達機構に関する研究」北海学園大学学園論集, 第 45 号, 17-43 (1983)
 30. **Masayuki Aikawa**, Nobuyuki Miura, Takashi Sumiyoshi, and Meiseki Katayama, "Electron Transfer Across Biological Membranes Reaction between Hydrated Electron and Methylviologen"; *Proceedings 7th International Congress of Radiation Research*. A4 01 (1983)
 31. 杉村 徹, 進藤善雄, 相川雅之, 「マイクロコンピュータを用いたデータ収録システムと発光寿命測定への応用」北海学園大学学園論集, 第 47 号, 83-102 (1984)
 32. 相川雅之, 原田佳幸, 「人工光合成 (II): 電子媒体の存在する系での膜間電子伝達機構」北海学園大学学園論集, 第 52 号, 21-33 (1985)
 33. **Masayuki Aikawa**, "An Adiabatic Photoreaction and Dual Luminescence of Benzophenones Resulting from Triplet-Triplet Annihilation"; *Gakuen Ronshu (The Journal of*

Hokkai-Gakuen University), NO.54, 21-39 (1986)

34. 相川雅之, 「人工光合成 (Ⅲ): 生体膜間電子伝達を支配する諸要因」*北海学園大学学園論集*, 第 60 号, 31-50 (1988)
35. 相川雅之, 「三重項エキシマーの再検討: 77 K 混合結晶中の芳香族化合物からのりん光」*北海学園大学学園論集*, 第 66 号, 107-128 (1990)
36. **Masayuki Aikawa**, Nicholas J. Turro, and Katsuya Ishiguro, "Electron Transport Reactions Between Pyrene and Methylviologen in a Model Biological Membrane"; *Chemical Physics Letters*, **222(3)**, 197-203 (1994)
37. 佐々木博明, 谷口 博, 相川雅之, 込山 亮, 「ホルムアルデヒド及び VOC の現状と除去対策の研究 — 寒冷住宅における室内空気汚染物質の実態と対策の研究 —」*北海学園大学工学部研究報告*, 第 28 号, 295-314 (2001)
38. 相川雅之, 松永政司, 「鮭白子由来二重らせん DNA の抽出・精製の新技术」*北海学園大学工学部研究報告*, 第 32 号, (2005)
39. 相川雅之, 佐藤雅美, 松永政司, 「魚類白子からの二本鎖 DNA の抽出・精製方法」特許庁, 特願 2004-64055, 特許 2005-245394, (2005)
40. 相川雅之, 「環境中の化学物質: (1)ダイオキシン類」*北海学園大学学園論集*, 第 140 号, 107-156 (2009)

学会発表等

1. 「シクロペンタノン及びその混合物系の放射線分解における水素生成の機作に関する考察」片山明石, 相川雅之, 日本化学会第 16 年会 (1967)
2. 「重水素置換体によるシクロペンタノンの放射線分解における水素生成機作の研究」鶴浦勤也, 相川雅之, 片山明石, 日本化学会第 22 年会 (1969)
3. 「シクロペンタノンの放射線分解・陰イオンのマススペクトル」相川雅之, 荒川和夫, 杉浦俊男, 片山明石, 第 14 回放射線化学討論会 (1971)
4. 「流動性溶液中のりん光におよぼす溶媒効果」竹村 健, 相川雅之, 馬場宏明, 分子構造総合討論会 (1972)
5. 「流動性溶液中における芳香族炭化水素のエキサイマールりん光」竹村 健, 相川雅之, 分子構造総合討論会 (1973)
6. 「流動性溶液中における芳香族炭化水素のエキサイマールりん光・フェナントレン三重項の動的挙動」相川雅之, 竹村 健, 馬場宏明, 日本化学会第 30 春季年会 (1974)
7. 「流動性溶液中におけるナフタレンおよびその誘導体の三重項状態の動的挙動」竹村 健, 馬場宏明, 相川雅之, 分子構造総合討論会 (1974)
8. 「ビニルナフタレンーフェニルビニルケトン共重合体におけるダイマーおよびエキシマール

- ん光」相川雅之, 竹村 健, 馬場宏明, 入江正浩, 林晃一郎, 日本化学会第 32 春季年会 (1975)
9. “Phosphorescence from Triplet Excimer of Aromatic Compound in Fluid Solution” Takeshi Takemura, Masayuki Aikawa and Hiroaki Baba, International Conference on Luminescence, (1975)
 10. 「ポリビニルナフタレンにおけるダイマーの吸収および発光スペクトル」上篠隆雄, 入江正浩, 相川雅之, 竹村 健, 林晃一郎, 馬場宏明, 高分子討論会 (1975)
 11. 「 α -プロムナフタレン類の光化学初期過程: 三重項状態を経由する二量化反応」相川雅之, 内田和臣, 片山明石, 日本化学会第 36 春季年会 (1976)
 12. 「NAD⁺ 水溶液の γ -線照射におけるダイマーの吸収および発光スペクトル」相川雅之, 本名武, 片山明石, 第 20 回放射線化学討論会 (1976)
 13. 「流動性溶液中におけるベンゾフェノンとその誘導体の高密度励起による発光スペクトル」相川雅之, Nicholas J. Turro, 日本化学会第 43 春季年会 (1981)
 14. 「ミセル凝集系のパルスラジオリシス: 水和電子のミセル間交換反応」相川雅之, 住吉 孝, 三浦信之, 片山明石, 第 25 回放射線化学討論会 (1981)
 15. 「生体二分子層膜中の電子移動機構」相川雅之, 三浦信之, 片山明石, 日本化学会第 48 秋季年会 (1983)
 16. 「電子媒体の存在する系での膜間電子移動機構」相川雅之, 原田佳幸, 片山明石, 日本化学会第 50 春季年会 (1985)
 17. 「モデル生体膜間で生じるピレンからメチルビオローゲンへの電子移動過程」相川雅之 第 37 回放射線化学討論会 (1994)
 18. 「DNA の化学構造を利用した環境汚染物質除去剤への利用」相川雅之, 日本環境ホルモン学会, (2003)
 19. 「鮭白子二重らせん DNA を用いたダイオキシン類等の有害物質除去」相川雅之, 日本環境ホルモン学会, (2003)

招待講演等

1. “Photochemistry and Photophysics in Micellar Solution,” Department of Chemistry, Columbia University, New York, U.S.A. (1978-02)
2. “Application of Laser Photolysis to the Study of Reactive Intermediate,” Department of Chemistry, Columbia University, New York, U.S.A. (1979-11)
3. “Application of Laser Photolysis to the Study of Reactive Intermediate,” Department of Chemistry, Texas A & M University, College Station, Texas, U.S.A. (1980-08)
4. 「ミセル凝集系における消光と光化学」光化学討論会招待講演, 札幌, (1981-09)
5. “Artificial Photosynthesis” Department of Chemistry, The University of Nebraska,

Lincoln, Nebraska, U.S.A. (1993-07)

その他

1. 相川雅之, 世戸憲治, 杉村 徹, 「太陽光による光合成の研究：光合成をモデルとする光エネルギーの化学的変換法 (I)」日本私学振興財団学術振興資金学術研究報告書, 25-32 (1984-12)
2. 相川雅之, 世戸憲治, 杉村 徹, 「太陽光による光合成の研究：光合成をモデルとする光エネルギーの化学的変換法 (II)」日本私学振興財団学術振興資金学術研究報告書, (1985-12)
3. 相川雅之, 世戸憲治, 杉村 徹, 「太陽光による光合成の研究：光合成をモデルとする光エネルギーの化学的変換法 (III)」日本私学振興財団学術振興資金学術研究報告書, (1986-12)