

環状DNAを用いた人工光合成系の構築

「変換と制御」領域 居城 邦治

要 旨

植物や微生物の光合成は、太陽エネルギーを使って高エネルギー化学物質を効率の良く作り出すシステムである。これを人工的に模倣することができれば、環境に優しい省エネルギー型化学プラントを構築することが可能となる。最近、光捕集複合体LH2を構成するタンパク質・色素複合体の立体構造が解明された (Fig. 1)。太陽エネルギーを捕獲するための色素分子が環状に配列していることから、色素の配列とエネルギー移動のための励起子伝達の関係が重要視されているが、なぜ環状構造なのか？という疑問に対してまだ解答は得られていない。色素分子の環状配列を再現できればこの疑問に答えることができると期待される。しかし、従来の化学ではこのような色素分子の環状構造を作り出すことは困難であった。



Fig. 1 光捕集複合体LH2の構造 (Nature, vol.374, p.517(1995)より転載)

そこで本研究では、DNAの分子認識を利用することで、色素分子を環状に配置した分子集合体の構築を目指した。DNAの二重らせん構造を形作っている核酸塩基間の特異的な水素結合に着目して、一本鎖DNAと色素分子の分子集合体を作製した。一本鎖DNAが鋳型

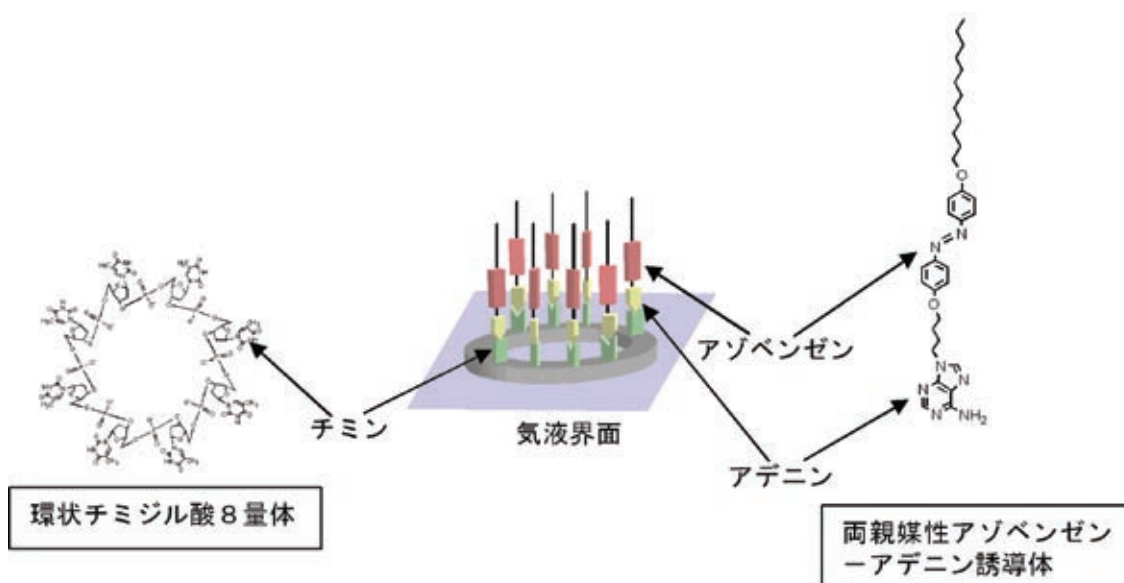


Fig.2 気液界面における環状チミジル酸を鋳型としたアゾベンゼン-アデニン誘導體の環状固定化

となり、DNAの塩基配列に応じて色素分子を気水界面で配列できることがわかった。大きく分けて下記の成果が得られた。

- 1) 環状DNAを鋳型としたアゾベンゼンの環状配列 (Fig. 2)
- 2) オリゴヌクレオチドを鋳型にしたアゾベンゼンの精密配列
- 3) DNAの伸長固定化

1. はじめに

生体では分子が精密に配向・配列することにより高機能を生み出している。近年、光合成とそれを構成する分子の配列構造との関係が明らかになってきている。光合成は光エネルギーを化学エネルギーに高い効率で変換するプロセスであり、その基本的な反応は、(1) 光捕集、(2) エネルギー移動、(3) 電荷分離、(4) 電子移動、(5) 触媒反応、に大きく分けられる。個々の反応を理解し、模倣することができれば高効率のエネルギー変換システムを構築することが可能となる。この中で(1) 光励起、(2) エネルギー移動はアンテナ系とよばれる光捕集複合体群で行われている。1995年、紅色光合成細菌の光捕集複合体LH2を構成するタンパク質・色素複合体の立体構造がイギリスのグループにより解明された(図1)。それは9回回転対称性を持つ二重リング構造で、外環では光を補足する色素であるバクテリオクロフィル(Bchl)単量体が、内環ではBchl二量体が、共に9個円形に並んでいる。光吸収による外環の励起エネルギーは内環を通じてほぼ100%の効率で反応中心に伝達される。内環ではBchlが十分に近接して配置されているため、個々のBchlの励起が共鳴して励起子を形成する。すなわち吸収された光エネルギーは励起エネルギーとしてリングの中を周回していると考えられている。これはシンクロトロンを連想させるが、自然がなぜこのような色素配列を選んだのかはまだ明確にはわかっていない。色素分子の環状配列を再現できればこの疑問に答えることができる。これまで色素分子の配列を制御するために巨大分子が合成されたり、超分子化学やラングミュアー-ブロッジェット膜などが用いられきた。しかしLH2同様の色素の環状配列構造をつくることは困難であった。

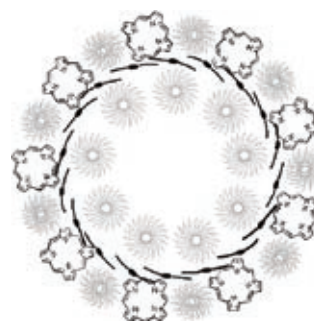


図1 光捕集アンテナ系内の周辺アンテナLH2の模式図

分子を空間的に自在に並べるためのお手本をデオキシリボ核酸(DNA)に見出すことができる。DNAはゲノムとして遺伝情報を保持しているが、高分子化学のサイドから見れば、核酸塩基、糖、リン酸からなるイオン性高分子である。核酸塩基のアデニン-チミン、シト

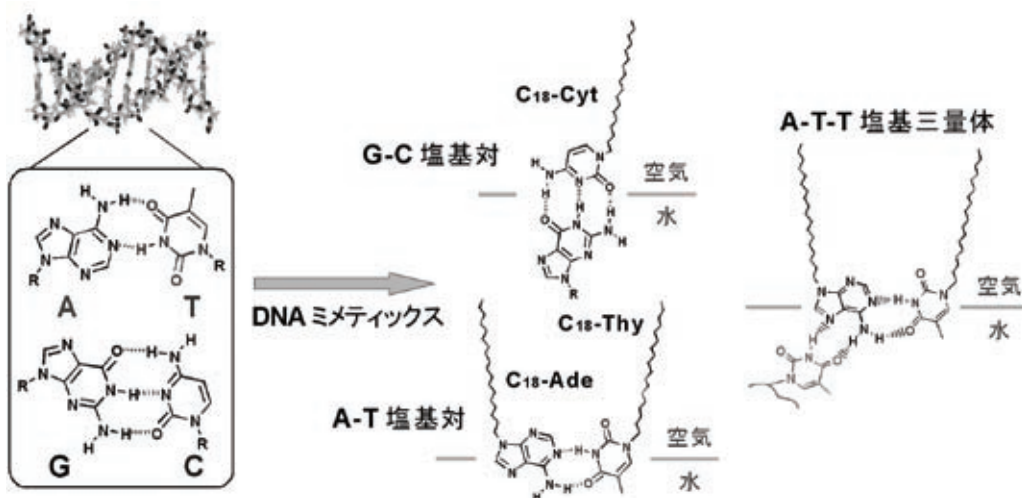


図2 気液界面単分子膜における塩基対および塩基三量体形成 (DNA ミメティクス) の模式図

シングアニン間の相補的水素結合により二重らせん構造を形作っている点から、分子認識で組みあがった超分子ともいえる。

水分子はそれ自身が水素結合のドナーでありアクセプターでもあることから、水素結合からなる塩基対の形成を阻害する。ところが水が空気と接する気液界面では水分子が構造化していることにより水素結合が促進されることが知られている。我々はこれまで核酸塩基に長鎖アルキル基を導入することで両親媒性化したオクタデシルシトシン (C_{18} -Cyt) が気液界面でラングミュアー単分子膜を形成し、下水相のグアノシンとのみ Watson-Crick 型塩基対をつくり、さらにその C-G 塩基対がスタッキングすることで二次元に結晶化するを示した (図 2)。また、オクタデシルアデニン (C_{18} -Ade) とオクタデシルチミン (C_{18} -Thy) を同時に水面上に展開すると、Watson-Crick 型 A-T 塩基対がスタッキングした単分子膜ができることも見出した (図 2)。このように気液界面単分子膜を場とすることで、核酸塩基の配向を制御して、塩基対のスタッキング構造を真似た二次元分子集合体を作製することができる。さらに C_{18} -Ade/ C_{18} -Thy 単分子膜の下水相にチミン化合物を添加すると、単分子膜に Hoogsteen 型の水素結合で結合し、DNA の三重らせん構造に見られる塩基三量体を形成することもわかった (図 2)。我々はこのような分子集合体が二重らせんや三重らせん DNA の構造と似ていることから「DNA ミメティクス」とよんでいる。

本研究の目的はこの DNA ミメティクスを用いて光捕集アンテナ色素系を人工的な分子集合体として模倣することである。DNA ミメティクスを用いれば、色素分子を望みの位置にオングストロームの精度で配置することが可能であると考えた。本研究では、塩基配列が決まった DNA 断片 (オリゴヌクレオチド) を足場 (鋳型) とすることで、塩基対形成によっ

て核酸塩基を持つ両親媒性化合物を気液界面で配列した。その制御方法を三段階で行った。一つ目は目的の形に色素を並べることであり、二つ目は色素の間隔を制御することであり、そして三つ目はこのようにして得られたオリゴヌクレオチドと色素分子から成る分子集合体同士の配列制御である。具体的には、(1) 光合成系の光捕集アンテナ色素系を模倣するために環状DNAを足場として色素分子のアゾベンゼンの環状配列を行い直鎖状DNAと比較した、(2) 足場のDNAの塩基配列による色素の配列制御を行った、(3) DNA分子を単分子膜を移し取ることでその配向を制御した。

2. 研究内容

2-1 環状DNAを足場としたアゾベンゼンの環状配列

【環状DNAの合成】

全保護チミジル酸を出発物質として、リン酸トリエステル法に従って脱保護と縮合を繰り返して、全保護直鎖オクタチミジル酸を得た。このオクタチミジル酸の両末端の水酸基、リン酸基を、それぞれ順に脱保護し、ついで希薄条件下で縮合反応を行い、分子内で縮合された全保護環状オクタチミジル酸を得た。得られた環状物は、NMR、ならびにマスペクトルにより確認を行った。最後に、残ったクロロフェニル基をオキシメートイオンにより除去し、環状チミジル酸8量体 (CycT 8) を得た (図3)。合成物の確認は、NMRスペクトルにより行った (図4)。同様に塩基の数が異なる環状チミジル酸4量体 (CycT 4)、6量体 (CycT 6)、10量体 (CycT10) を合成した。

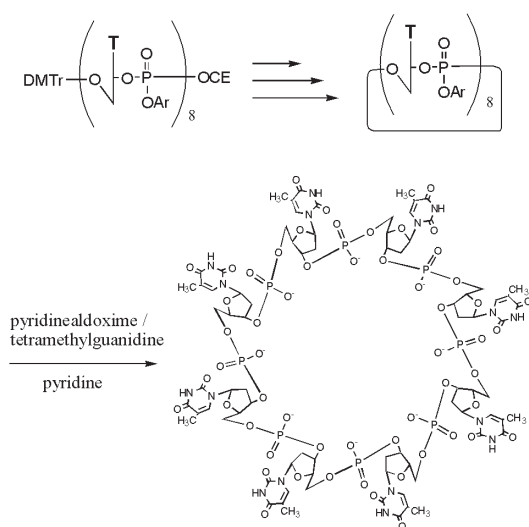


図3 CycT8の合成スキーム

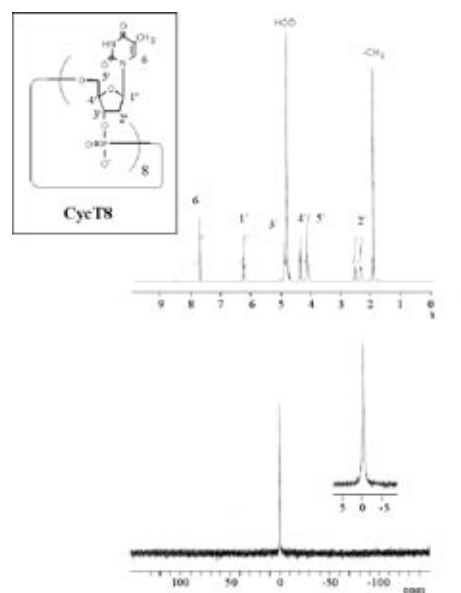


図4 CycT8の¹H-NMR (上) と³¹P-NMR (下) スペクトル

【気液界面におけるアゾベンゼン-アデニン誘導体とオリゴヌクレオチドの相互作用】

発色団としてアゾベンゼンを有する両親媒性アゾベンゼン-アデニン誘導体 (AzoAde) を合成した。これを、750nM(unit)の濃度の直鎖状のチミジル酸30量体 (dT₃₀)、アデニル酸30量体 (dA₃₀)、シチジル酸30量体 (dC₃₀)、グアニル酸30量体 (dG₃₀) をそれぞれ含む 1 mM EDTA を含む10mM Tris-HCl 緩衝溶液 (pH7.8、TE緩衝溶液) 上に展開し、20℃で表面圧-面積等温線をコンピュータで制御されたフィルムバランス (U S I 社製) で測定した (図5)。AzoAdeは気液界面で単分子膜を形成することがわかった。dT₃₀を下水相に含むときのみ等温線が膨張したことから、AzoAdeは下水相のdT₃₀とA-T対を特異的に形成すると考えられる。

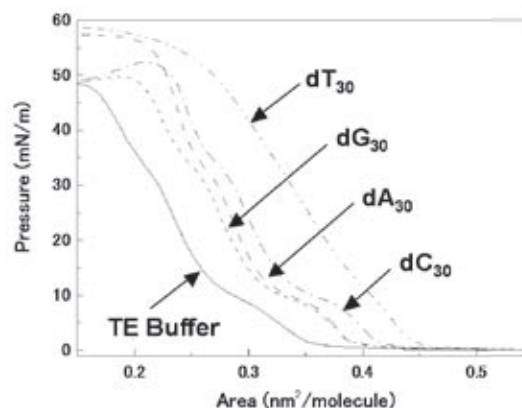
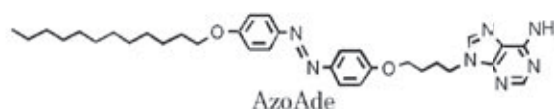


図5 種々のオリゴヌクレオチド水溶液上のAzoAde単分子膜の表面圧-面積曲線

【オリゴヌクレオチドを足場としたアゾベンゼン-アデニン誘導体集合体の分光測定】

気液界面に存在するAzoAde単分子膜のUV-Vis反射吸収スペクトルを光ファイバー型反射吸収分光器 (分光計器社製) を用いて測定した。下水相に750nM(unit)の濃度の直鎖状チミジル酸30量体 (dT₃₀)、異なる大きさの環状チミジル酸CycT4、CycT6、CycT8、CycT10をそれぞれ含むTE緩衝溶液上にAzoAdeを20℃で展開した後、2時間後に表面圧が0 mN/mすなわちAzoAde分子が十分な自由体積を持つ状態で反射吸収スペクトルを測定した (図6)。dT₃₀、CycT4、CycT10ではほぼ同じ最大吸収波長を与えるが、CycT6とCycT8では約20nm短波長にシフトした反射吸収スペクトルを示した。ここでは同じ分子AzoAdeを用いているのに、下水相のオリゴヌクレオチドによってその吸収スペクトルが変化することを示している。色素分子は会合形式によって基底状態の相互作用が変化し、その結果吸収スペクトルが変化することが知られている。CycT6とCycT8での反射吸収スペクトルが、直鎖状のdT₃₀の時と異なることは、それぞれの分子集合体中でのアゾベンゼンの会合状態が異なっていることを示している。すなわち、アゾベンゼンの直鎖状の配列と環状の配列では、アゾベンゼンの会合形式が異なり、その結果異なる反射吸収スペクトルが得られたと推測される (図7)。

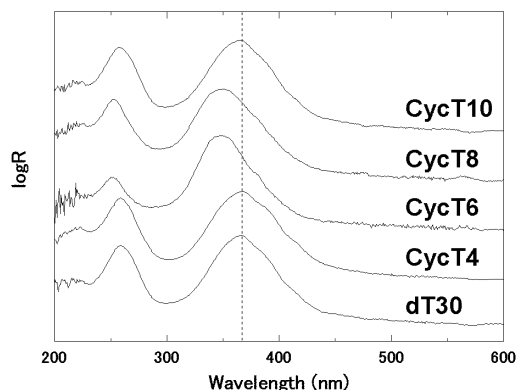


図6 AzoAde単分子膜のオリゴヌクレオチド水溶液上でのUV-Vis反射吸収スペクトル

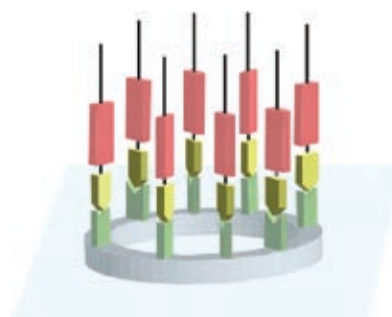


図7 環状DNAを鋳型にしたアゾベンゼン-アデニン分子の環状配列

2-2 オリゴヌクレオチドを鋳型としたアゾベンゼンの精密配列

【種々のオリゴヌクレオチド水溶液上でのアゾベンゼン-チミン誘導体の単分子膜形成】

合成した両親媒性アゾベンゼン-チミン誘導体 (AzoThy) のクロロホルム/エタノール混合溶液 (9/1 v/v) を、1 mM EDTA を含む 10 mM Tris-HCl 緩衝溶液 (pH 7.8、TE 緩衝溶液) 上に展開し、20 °C で表面圧-面積等温線を測定した (図 8)。TE 緩衝溶液には、25 nM のオリゴヌクレオチドを添加した。オリゴヌクレオチドとして、 dA_{30} 、 $d(GA)_{15}$ 、 $d(GGA)_{10}$ を用いた。オリゴヌクレオチドを添加しない場合、表面圧が約 10 mN/m のとき相転移が起こり、高い表面圧では固体膜を形成した。下水相に dA_{30} を添加することで単分子膜が膨張し、また相転移圧が上昇した。すなわち AzoThy 分子が下水相の dA_{30} のアデニンと相互作用 (塩基対形成) していることがわかった。オリゴヌクレオチドを鋳型を認識して組織化することを確認するため、Thy と塩基対を形成する dA が一つおきに配列した $d(GA)_{15}$ を下水相に添加した。 dA_{30} 上と比較して、液体状態での単分子膜の膨張が見られるものの、固体状態では、等温線が一致した。ところが、dA が二つおきに配列した $d(GGA)_{10}$ を

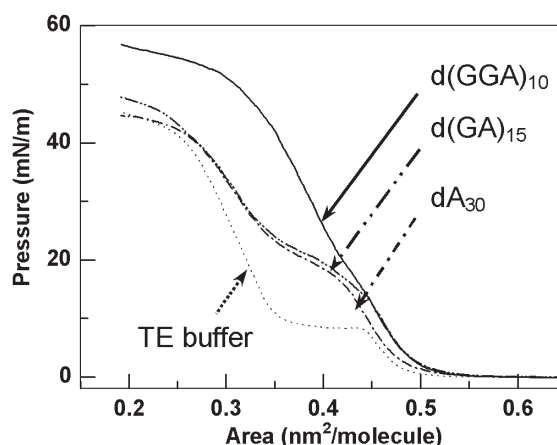
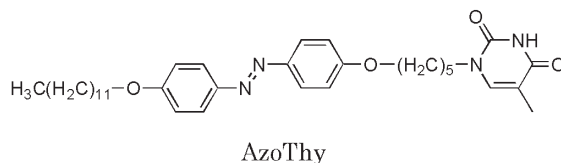


図8 種々のオリゴヌクレオチド水溶液上でのAzoThy単分子膜の20 °Cにおける表面圧-面積曲線

添加することで、相転移が無くなり、高い表面圧においても単分子膜の膨張が維持された。AzoThy分子は下水相のグアニンとは相互作用しないことから、d(GGA)₁₀のアデニンとのみ塩基対形成をしていると考えられる。

【アゾベンゼン-チミン誘導体の気液界面での分光測定】

光ファイバー型UV-Vis反射吸収分光器によってdA₃₀あるいはd(GA)₁₅上において得られた水面単分子膜の反射スペクトルを図9示す。dA₃₀上では、単分子膜が液体状態である5 mN/mにおいて、極大吸収波長が357nmであることから、単分子膜中の大部分のアゾベンゼン発色団はモノマー状態であることが分かった。しかし、320nm付近にも吸収が見られたことから、一部分のアゾベンゼンがH会合体を形成しているものと考えられる。固体膜を形成する25mN/mでは、スペクトルが314nmにシフトし、H会合体が形成された。d(GA)₁₅を鋳型として下水相に添加した場合、相転移圧よりも低い5 mN/mでは、dA₃₀上と比較してH会合体に由来する吸収は弱くなり、アゾベンゼン基がより分散しているものと考えられる。

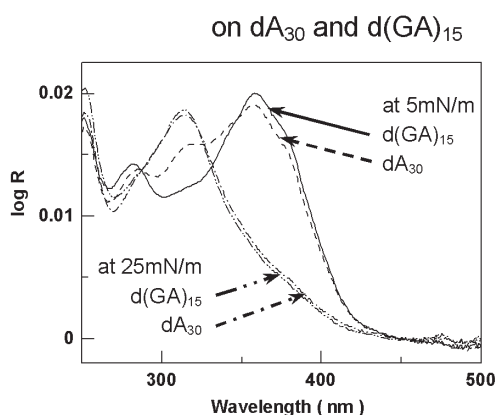


図9 dA₃₀およびd(GA)₁₅水溶液上でのAzoThy単分子膜のUV-Vis反射吸収スペクトル

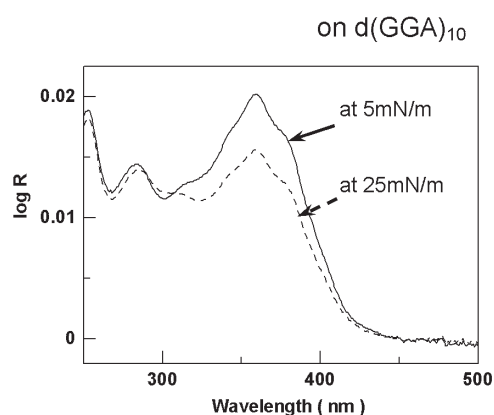


図10 d(GGA)₁₀水溶液上でのAzoThy単分子膜のUV-Vis反射吸収スペクトル

ところが、単分子膜が固体膜を形成する25mN/mでは、314nmへと短波長シフトし、アゾベンゼンがH会合体を形成することが分かった。一方、d(GGA)₁₀上において単分子膜を作製したところ、358nmに極大吸収波長を有する反射吸収スペクトルが得られたことから、高い表面圧においてもモノマー状態が維持され

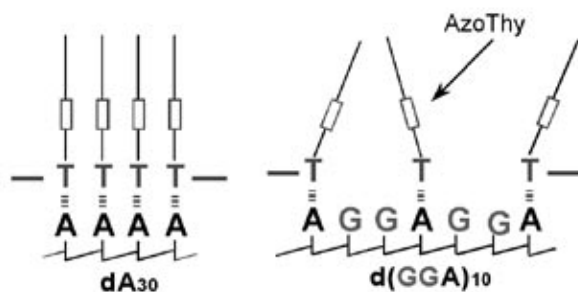


図11 オリゴヌクレオチドによる色素分子の配列制御の模式図

ていることが分かった。AzoThy分子を組織化する際、鋳型のオリゴヌクレオチド上で二塩基以上隔てることで、単分子膜中のアゾベンゼン基を完全に分散化できることが分かった。以上のことから、AzoThyは、鋳型として下水相に添加したd(GGA)₁₀上のdAと塩基対を形成することで、アゾベンゼン間に十分な空間ができ、アゾベンゼンの会合体形成が抑制されたものと期待される（図11）。

2-3 ラングミュアー-プロジェクト法によるDNA分子の配向・配列化

DNAとして市販のバクテリオファージλ由来のLambda DNA (48,502塩基対、B型として計算した長さ16.5 μm)を用いた。基板上的DNA分子の形状を観察するため、DNAに特異的に結合して強い蛍光を発する色素YOYO-1をDNAとともにTE緩衝溶液に溶解し、下水相として用いた。長鎖ジアルキルジメチルアンモニウム塩 1 ($2 C_n N^{+2} C_1, n=12-18$) のクロロホルム溶液をフィルムバランス (USI製) に満たしたDNA (600nM in bp) とYOYO-1の混合水溶液上に展開し、形成したポリイオンコンプレックス単分子膜を表面圧 5 mN/m まで圧縮後、垂直引き上げ法および水平付着法によりガラス基板に移し取った (図12)。ガラス基板上の蛍光イメージは、冷却CCDカメラ (BITRAN製) を装着した蛍光顕微鏡 (ニコン製) を用いてB励起フィルターで観察した。垂直引き上げ法および水平付着法でガラス基板に移し取ったLambda DNA-両親媒性化合物ポリイオンコンプレックス単分子膜の蛍光顕微鏡像を図13に示す。蛍光像のひも状構造はDNA分子を示している。垂直引き上げ法により移し取った場合、DNA分子はまっすぐに引き伸ばされるのに対し、水平付着法で移し取った場合、DNA分子は縮まった構造を取っていることがわかった。このことより、水面

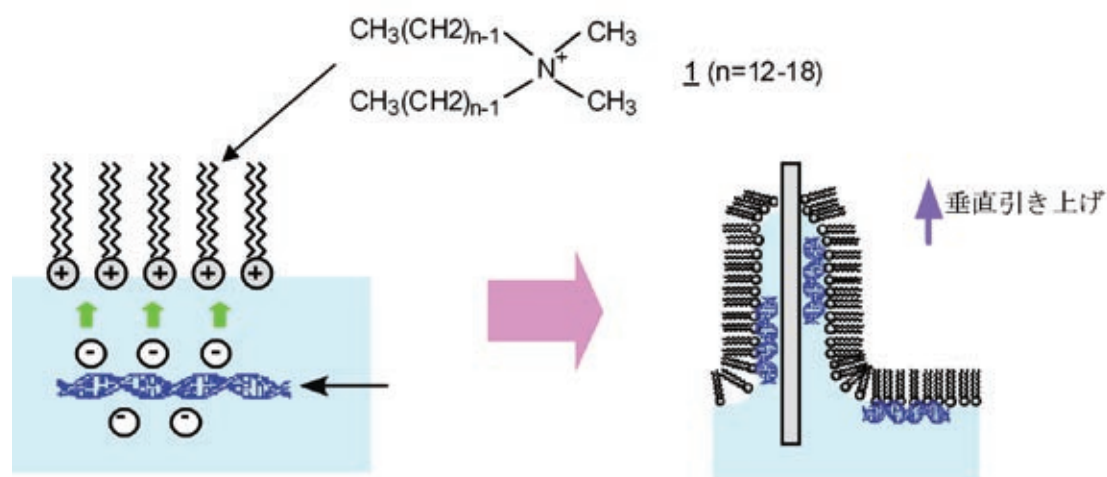


図12 ラングミュアー-プロジェクト法によるDNA-両親媒性化合物ポリイオンコンプレックス単分子膜の移し取りの模式図

上では縮んでいたDNA分子が、ガラス基板を引き上げて移し取る際に伸長したと考えられる。DNA分子はその末端が基板に固定化されて、引き上げ時のメニスカスの移動により伸ばされるわけではなく、単分子膜に静電吸着したままDNA分子が引き伸ばされたと考えられる。このような高分子の伸長現象としてコイル-ストレッチ転移

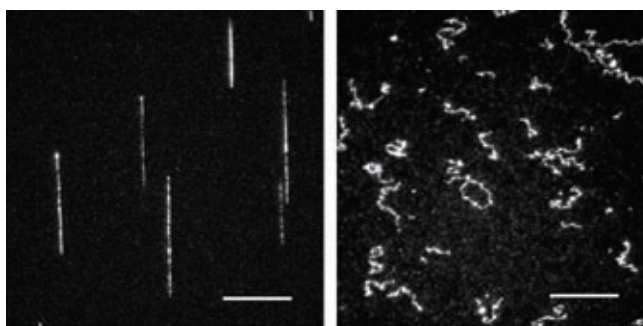


図13 垂直引き上げ法 (左) および水平付着法 (右) でガラス基板に移し取ったポリイオンコンプレックス単分子膜の蛍光イメージ (白線は10 μ mを示す)

が知られている。これはフレキシブルな高分子の希薄な溶液に、流動速度が不均一な場すなわち伸長流動場を与えると、高分子が糸まりになろうとするエントロピー力に抗して高分子が引き伸ばされる現象である。今回のDNA分子の伸長も伸長流動場による可能性がある。

3. 考 察

本研究では、塩基配列が決まったDNA断片 (オリゴヌクレオチド) を足場 (鋳型) とすることで、塩基対形成を使い核酸塩基を持つ両親媒性化合物の気液界面での配列を制御することに成功した。その方法を三段階に分けて以下の成果を得た。(1) 光合成系の光捕集アンテナ色素系を模倣するために環状DNAを足場として色素分子のアゾベンゼンの環状配列を行い直鎖状DNAと比較した。その結果、CycT6とCycT8を鋳型とした場合、アゾベンゼンの最大吸収波長は短波長にシフトしており、環状に配列することで特異的な吸収スペクトルを示すことがわかった。(2) 足場のDNAの塩基配列による色素の配列制御を行った。その結果、AzoThy分子を組織化する際、鋳型のオリゴヌクレオチドとしてd(GGA)₁₀を用いて塩基対形成を二塩基以上隔てることで、単分子膜中のアゾベンゼン基を完全に分散化できることが分かった。(3) ラングミュアー-プロジェクト法でDNA-両親媒性化合物ポリイオンコンプレックス単分子膜を垂直引き上げ法でガラス基板に移し取ることでDNA分子を伸長して配向・配列固定化できることを示した。

以上の成果は色素分子の配列制御に関する要素技術であるが、伸長固定化したDNA分子上に環状に配列した色素分子集合体をさらに集積化することで光合成の機能を創成することが可能になると期待できる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、多大なご協力をいただきました松本仁博士、西田仁博士、松尾保孝博士、奥原亜季氏に感謝します。また貴重なご助言をいただきました領域総括 合志陽一先生ならびに推進委員の先生方、および研究をご支援いただきました領域事務所の方々に感謝いたします。

研究業績リスト

・国内特許（4件）

- 1) 「有機超膜膜とその累積体並びにその製造方法」, 特願 2002-263434, 2002. 9. 9, 居城邦治・松本 仁・下村政嗣
- 2) 「環状DNAの伸長固定化法」, 特願 2002-315169, 2002.10.31, 居城邦治・松尾保孝・下村政嗣
- 3) 「DNA - 分子の特異的塩基配列検出法」, 特願 2003-79849, 2003. 3. 24, 居城邦治・松尾保孝・下村政嗣
- 4) 「DNAの無電解メッキによる金属細線構造の構築」, 特願 2003-358959, 2003.10.20, 居城邦治・橋本裕一・下村政嗣

・外国特許（1件）

- 1) 「有機超膜膜とその累積体並びにその製造方法」, 出願中, 居城邦治・松本 仁・下村政嗣
- 2) 「DNA一分子の特異的塩基配列検出法」, 出願中, 居城邦治・松尾保孝・下村政嗣

・発表論文（14件）

- 1) 松本 仁, 居城邦治, 下村政嗣: 「二次元DNA-mimeticsの鋳型光重合」, *光化学*, **32**(2): 1-6 (2001)
- 2) 居城邦治, 松本 仁, 下村政嗣: 「DNAミメティクスを利用した分子ナノ組織体の構築」, *高分子錯体アニユマルレビュー*: 9-10 (2002)
- 3) Ijiro. K., Matsumoto. M., Shimomura. M.: "Immobilization of Single DNA Molecules Complexed with Cationic Lipid Monolayers", *Towards Novel Molecular Devices Nanotechnology toward the Organic Photonics*, Ed. Hiroyuki Sasabe, Goo Tech, Chitose: 351-358 (2002)
- 4) 居城邦治, 松本 仁, 西田 仁, 森末光彦, 下村政嗣: 「環状DNAを用いた人工光合成アンテナ系構築に向けて」, *化学工業*, **53**(7): 351-358 (2002)
- 5) 居城邦治: 「DNA 1分子の塩基配列を解析する」, *化学と教育*, 50-7: 507-509 (2002)
- 6) 橋本裕一, 澤田石哲郎, 居城邦治, 下村政嗣: 「導電性原子間力顕微鏡を用いたポリチオフェン細線の微少領域光導電性測定」, *高分子論文集*, **59**(10): 651-655 (2002)
- 7) Ijiro. K., Matsumoto. J., Morisue. M., Shimomura. M.: "Controlled Aggregation of Azobenzene based on DNA-Mimetics at the Air-Water Interface", *International Journal of Nanoscience*, **1**(5-6): 597-601(2002)
- 8) Sunami. H., Ijiro. K., Shimomura. M.: "Molecular Recognition of Nucleobases Attached to Self-Assem-

- bled Monolayers detected by Chemical Force Microscopy and Quartz Crystal Microbalance” , *International Journal of Nanoscience*, **1**(5-6) : 667-671(2002)
- 9) Matsuo. Y., Ijiro. K., Shimomura. M. : “Stretching of Single DNA Molecules by Langmuir-Blodgett Method” , *International Journal of Nanoscience*, **1**(5-6) : 695-699(2002)
- 10) Nishida. J., Matsumoto. J., Morisue. M., Ijiro. K., Shimomura. M. : “Circular Arrangement of Azobenzene Chromophores in the Nucleoamphiphile Monolayer by Base-Pairing with Cyclic DNA” , *International Journal of Nanoscience*, **1**(5-6) : 677-681(2002)
- 11) Hashimoto. Y., Ijiro. K., Sawadaishi. T., Shimomura. M. : “Electric Conductivity of Nucleic Acid Polymer Monolayer” , *International Journal of Nanoscience*, **1**(5-6) : 707-711(2002)
- 12) Shimomura. M., Mitamura. R., Matsumoto. J., Ijiro. K. : “DNA-mimetics: towards novel molecular devices having molecular information” , *Synthetic Metals*, **133-134** : 473-475(2003)
- 13) Yabu. H., Tanaka. M., Ijiro. K., Shimomura. M. : “Preparation of Honeycomb-Patterned Polyimide Films by Self-Organization” , *Langmuir*, **19**(15) : 6297 -6300(2003)
- 14) Ijiro. K., Matsuo. Y., Shimomura. M. : “Stretching of single DNA molecules by LB technique for restriction site mapping” , *Nucleic Acids Research Supplement*, **3** : 47-48(2003)

• **国際学会発表 (24件)**

- 1) Matsumoto. J., Ijiro. K., Nishimura. S.-I., Shimomura. M. : “Template Polymerization of Diacetylene Assemblies Based on DNA-Mimetics at the Air-Water Interface” , Xiangshan Science Conference on Functional Supramolecular Systems(2001)
- 2) Ijiro. K., Matsuo. Y., Hashimoto. Y., Mitamura. R., Nishimura. S.-I., Sawadaishi. T., Shimomura. M. :” Fabrication of 2 -D Self-Assembled DNA Molecules towards Molecular Photonics Devices” , Xiangshan Science Conference on Functional Supramolecular Systems(2001)
- 3) Matsumoto. J., Ijiro. K., Nishimura. S.-I., Shimomura. M. :” Template Polymerization of Diacetylene Assemblies Based on DNA-Mimetics at the Air-Water Interface” , 2 nd Chitose International Forum on Photonics Science & Technology(2001)
- 4) Ijiro. K., Mitamura. R., Nishimura. S.-I., Sawadaishi. T., Shimomura. M. :” Controlled Immobilization of Single DNA Molecules Complexed with Cationic Lipid Monolayer at the Air-Water Interface” , 2 nd Chitose International Forum on Photonics Science & Technology(2001)
- 5) Ijiro. K., Sawadaishi. T., Matsumoto. J., Matsuo. Y., Sunami. H., Morisue. M., Mitamura. R., Hashimoto. Y., Shimomura. M. :” Preparation of DNA-Based Molecular Assemblies by Self-Organization” , 1 st Asian Symposium on Nanotechnology and Nanoscience(2001)
- 6) Matsumoto. J., Ijiro. K., Nishimura. S.-I., Shimomura. M. :” Template Polymerization of Diacetylene-Nucleobase Monolayers Organized by Oligo-DNA at the Air-Water Interface, RIES-Hokudai International Symposium (2001)
- 7) Ijiro. K., Matsuo. Y., Mitamura. R., Shimomura. M. :” Alignment of Stretched Single DNA Molecules by Langmuir-Blodgett Technique” : TOF2002-International Conference on Thin Organic Films-(2002)

- 8) Ijiro. K. :” Immobilized DNA and DNA-mimetics towards Novel Molecular Devices with Molecular Information” , First International Symposium on DNA/RNA/Protein for Nanotechnology(2002)
- 9) Hashimoto. Y., Sawadaishi. T., Ijiro. K., Shimomura. M. :” Photo-conductivity of LB films consisting of Nucleic Acid Polymer” , 14th International Conference on Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy(IPS-14)(2002)
- 10) Matsumoto. J., Morisue. M., Ijiro. K., Shimomura. M. :” Construction of π -Electron Systems Based on DNA Mimetics at the Air-Water Interface” , 14th International Conference on Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy (IPS-14)(2002)
- 11) Ijiro. K., Matsumoto. J., Morisue. M., Nishida. J., Shimomura. M. :” Control of Chromophore Aggregation Based on DNA-Mimetics at the Air-Water Interface” , 3rd Chitose International Forum on Photonics Science & Technology(2002)
- 12) Nishida. J., Matsumoto. J., Morisue. M., Ijiro. K., Shimomura. M. :” Circular Arrangement of Azobenzene Chromophores in the Nucleoamphiphile Monolayer by Base-Pairing with Cyclic DNA” , Asia NANO(2002)
- 13) Matsuo. Y., Ijiro. K., Shimomura. M. :” Stretching of single DNA molecules by Langmuir-Blodgett method” , Asia NANO(2002)
- 14) Sunami. H., Ijiro. K., Shimomura. M. :” Molecular Recognition of Self-assembled Monolayers having Nucleobases detected by Chemical Force Microscopy and Quartz Crystal Microbalance” , Asia NANO(2002)
- 15) Ijiro. K., Matsumoto. J., Morisue. M., Shimomura. M. :” Controlled Photoisomerization of Azobenzene Chromophores in the Nucleoamphiphile Monolayers by Base-Pairing with Template DNA” , Asia NANO(2002)
- 16) Hashimoto. Y., Sawadaishi. T., Ijiro. K., Shimomura. M. :” Electric Conductivity of Nucleic Acid Polymer Monolayers” , Asia NANO(2002)
- 17) Ijiro. K., Matsumoto. J., Nishida. J., Morisue. M., Matsuo. Y., Shimomura. M. :” DNA-based Molecular Handling in Self-Organized Monolayers” , The First International Congress on Bio-Nano Interface (ICBN)(2003)
- 18) Matsumoto. J., Morisue. M., Ijiro. K., Shimomura. M. :” Transcription of DNA Sequence into Chromophore Arrangement in DNA-Mimetic Organizes at the Air-Water Interface” , The First International Congress on Bio-Nano Interface (ICBN)(2003)
- 19) Matsuo. Y., Ijiro. K., Shimomura. M. :” Observation of stretched single DNA molecules by scanning near-field optical microscope” , ICP21-The XXIst International Conference on Photochemistry-,(2003)
- 20) Shimomura. M., Matsumoto. J., Nishida. J., Morisue. M., Ijiro. K. :” Aggregation Behavior and Photoisomerization of Azobenzene DNA-Mimetics Formed at the Air-Water Interface” , ICP21-The XXIst International Conference on Photochemistry-,(2003)
- 21) Matsuo. Y., Ijiro. K., Shimomura. M. :” Near-Field Optical Imaging of Stretched Single DNA Molecules Prepared by Langmuir-Blodgett Method” , UPS' 03 -11th Conference on Unconventional Photo-active Systems-(2003)

- 22) Yabu. H., Higuchi. T., Ijiro. K., Shimomura. M. :” Preparation of Photochromic Nano-particles Containing Azobenzene Chromophores” ,UPS’ 03 -11th Conference on Unconventional Photo-active Systems-(2003)
- 23) Ijiro. K., Matsumoto. J., Morisue. M., Shimomura. M. : “Controlable Aggregation of Azobenzene based on DNA-Mimetics at the Air-Water Interface” ,UPS’ 03 -11th Conference on Unconventional Photo-active Systems-(2003)
- 24) Ijiro. K., Matsuo. Y., Shimomura. M. :” Stretching of single DNA molecules by LB technique for restriction site mapping” ,The 3 rd International Symposium on the Nucleic Acids Chemistry(2003)

• 国内学会発表 (50件)