

# 遺伝情報の分配と細胞の分裂

西田 洋巳

(工学部生物工学科)

細胞が遺伝情報である DNA を複製して倍化し、それらを細胞分裂の際に分配することは一般常識化している。バクテリアなどの単細胞生物の多くは対称性のある二分裂により細胞増殖している。しかし、この地球に生命が誕生し、細胞が出現した際、その細胞が二分裂をしていたかどうかについては不確かである。遺伝子进行操作することなく細胞を巨大化したバクテリアが脱巨大化する過程を通して、遺伝情報の分配と細胞の分裂について再考した。

キーワード：バクテリア、細胞分裂、DNA 複製、遺伝情報、巨大化細胞

## 1. バクテリアの細胞形態

バクテリア細胞のサイズは通常数マイクロメートルであるため、その形態は顕微鏡を使用しなければ観察できない。細胞形態は細胞表層を構成している細胞壁によって維持されており、通常、細胞分裂後も形態は維持され、球菌は球菌であり、桿菌は桿菌である。また、マイコプラズマのように細胞壁を持っていないバクテリアの形態は不定形である。マイコプラズマにおける細胞増殖には多様性があり、繊維状細胞を経て分裂する場合があることも報告されている (Bredt et al., 1973)。

興味深いことに、自然界において通常は細胞壁を持つバクテリアが細胞壁を合成できない状態となる場合があり、球菌や桿菌であったものが細胞壁を欠落させることにより不定形となる。この状態のバクテリアは L フォームと呼ばれている (Errington, 2013; Klieneberger, 1935)。L フォームのバクテリアの多くは寄生や病原性と関連していると報告されており、細胞壁を持たないマイコプラズマが絶対寄生性を有していることと関連しているかもしれない。

地球に細胞が出現した際には細胞壁を持たず、細胞は不定形であり、その後、細胞壁を形成できるようになってバクテリアの細胞形態の多様化が生じたとする仮説が提唱され、その細胞壁を持たない「原始融合細胞」においては遺伝情報の水平伝播が頻繁に生じ、ヘテロな遺伝情報を有していたと考えられている (Errington, 2013)。

## 2. 細胞壁の溶解

枯草菌のようなグラム陽性細菌は細胞膜の外側に比較的厚みのあるペプチドグリカンからなる細胞壁を持っているのに対して、大腸菌のようなグラム陰性細菌は細胞膜 (内膜) の外側に比較的薄いペプチドグリカン層を持ち、その

外側に外膜を持っている。

リゾチームはペプチドグリカン構造の *N*-アセチルグルコサミンと *N*-アセチルムラミン酸の結合を加水分解する。よって、バクテリアの細胞をリゾチーム処理することにより、細胞壁を溶かした細胞 (スフェロプラスト、プロトプラスト) を作成することができる。

興味深いことに、大腸菌において外膜を形成しているタンパク質が細胞壁形成に重要な役割を果たしていることが示されている (Paradis-Bleau et al., 2010; Typas et al., 2010)。

L フォームのバクテリアが増殖できるのに対して、スフェロプラストやプロトプラストは一般的に細胞分裂できず、増殖できない (Errington, 2013)。しかし、2013 年、人為的に細胞膜の表面積を増大させた枯草菌のプロトプラストの細胞分裂が確認された (Mercier et al., 2013)。

## 3. スフェロプラストの巨大化

グラム陰性細菌である大腸菌のスフェロプラストを細胞壁合成阻害剤であるペニシリン存在下で培養することにより、直径十数マイクロメートルまで細胞を巨大化できることが示され、大腸菌の細胞膜の性状をパッチクランプ法により解析することを可能にした (Kuroda et al., 1998)。

この巨大化細胞内には液胞様の構造体が観察された。液胞様構造体は細胞膜の陥入により形成されたことが示され、その内部には DNA が存在していない (Kuroda et al., 1998)。通常の直径が 1 マイクロメートルの細胞が巨大化して直径が 10 マイクロメートルになった場合、細胞表層の面積は 100 倍、細胞内部の体積は 1000 倍になる。バクテリアは細胞膜に埋め込まれた ATP 合成酵素によって ATP を生産しており、球状のまま巨大化した場合、細胞内部で必要とされる ATP を限られた細胞膜では供給できな

くなると考えられる。反転膜の液胞様構造体を細胞内に形成することにより、内部の体積を減少させる効果と膜の面積を増大させる効果があり、エネルギー不足を解消していると考えられる。

大腸菌および枯草菌の巨大化スフェロプラスト内には通常の一細胞の DNA 量よりも数百倍多くの DNA が存在していることが示されている (Kuroda et al., 1998; Nakamura et al., 2011)。このことはスフェロプラスト培養による細胞巨大化の過程において、ゲノム DNA の複製が阻害されていないことを示している。ただ、スフェロプラスト培養による細胞巨大化は直径が 15 マイクロメートル程度を限界として、それ以上には大きくならない。細胞の大きさが限界に達した際、DNA の複製はどのようになるのかについては今後の課題である。

#### 4. 細胞膜

生命・生物の最小単位は DNA ではなく、細胞である。細胞の設計図は遺伝情報である DNA に刻まれているが、DNA は単なる化合物の一つであり、それだけでは細胞にならない。また、同じく化合物である RNA やタンパク質と遺伝情報である DNA を混ぜ合わせたところで細胞は生じない。

言及するまでもなく、細胞の内部と外部では環境が異なっている。この細胞の内外を分ける構造体が細胞膜であり、細胞膜により内部環境が維持・管理されている。細胞膜は脂質二重膜によって形成されているが、その膜には様々な機能タンパク質が埋め込まれている。細胞の恒常性の維持において細胞膜は極めて重要な働きを担っており、細胞膜に埋め込まれている様々なタンパク質が機能することによって恒常性が維持されている。

トランスポーターなどのタンパク質は特定の物質の輸送に関与し、呼吸における電子伝達に関与しているタンパク質も細胞膜に埋め込まれている。プロトン濃度勾配に基づく ATP 生産を担っている ATP 合成酵素も細胞膜に埋め込まれている。機能が異なるこれらのタンパク質がどのように膜に配置されているであろうか。構造生物学における今後の重大な研究課題の一つである。

細胞が分裂するためには、遺伝情報である DNA を複製することと同等、あるいはそれ以上に細胞膜を最適に増大させることが重要であると考えられる。

#### 5. バクテリアの光合成

バクテリアの光合成には酸素を発生するものと発生しないものがある。シアノバクテリアは前者であり、パープルバクテリア (紅色細菌) は後者である。植物における葉緑体とシアノバクテリアは共通の祖先を持っていると考えら

れており、両者の光合成は類似している。水が酸化されて電子が引き抜かれ、その際に酸素が発生する。これに対してパープルバクテリアにおける光合成では水から電子を引き抜かず、酸素は発生しない。例えば、紅色硫黄細菌では硫化水素から電子を引き抜き、硫黄を生じる。

パープルバクテリアの細胞の色はカロテノイドの色であり、光受容体であるバクテリオクロロフィルの色ではない。光によって励起されたバクテリオクロロフィルからの電子伝達系により、細胞内からプロトンが細胞膜 (内膜) の外に輸送され、細胞膜を挟んでプロトン濃度勾配が形成される。この濃度勾配によって膜に埋め込まれた ATP 合成装置が働いて ATP が合成される。すなわち、パープルバクテリアの光合成の働きは呼吸の働きに類似しており、ATP 合成における呼吸のシステムを光合成で補っているように見える。

光受容体であるクロロフィルやバクテリオクロロフィルは光エネルギーを吸収して励起される。この励起エネルギーは速やかに化学エネルギー (最終的には ATP) に変換される必要があり、酸素をラジカル化させることを避けなければならない。よって、光によって励起される分子は必要がない場合には分解されている。例えば、光合成微生物を捕食した透明性の高い原生動物はその体内で速やかに光受容体を分解 (解毒) していることが示された (Kashiyama et al., 2012)。カロテノイドには余分に励起されたエネルギーを逃がす働きがあるとも考えられている (Niyogi et al., 1997; 1998)。

パープルバクテリアの光合成における電子伝達系は比較的単純である。その光合成によって機能しているシトクローム *b* や *c*、ユビキノンなどは酸素発生型の光合成においても機能し、呼吸における電子伝達系でも機能している。よって、パープルバクテリアにおける光合成システムは酸素発生型光合成および酸素呼吸のシステムの原型ではないかと考えられる。地球に誕生した生物の多様化の過程において太陽からの光エネルギーを利用する生物が出現 (パープルバクテリアに類似)、次に水から電子を引き抜くことが可能となった生物が出現 (シアノバクテリアに類似) して酸素が大量に発生、酸素は細胞にとって有害であったが、やがて酸素呼吸により ATP を合成できる生物が出現して酸素を利用できるようになったと考えられる。

#### 6. 好気性海洋性紅色光合成細菌の細胞巨大化

非酸素発生型の光合成を行うパープルバクテリアはほとんどが嫌気性である。これは上述したように励起された光受容体が酸素にエネルギーを与えた場合、活性酸素により細胞がダメージを受けるため、多くの非酸素発生型の光合成は酸素非存在下で行っていると考えられる。しかし、パー

ブルバクテリアのロゼオバクターやエリスロバクターは好気性の非酸素発生型の光合成を行う (Yurkov and Beatty, 1998)。

われわれの研究室において好気性海洋性紅色光合成細菌ロゼオバクター・リトラリスの細胞を巨大化することに成功した (Nojiri et al., 2015)。ロゼオバクターはグラム陰性であるため、大腸菌とよく似た細胞表層を持っている。電子顕微鏡観察により、巨大化細胞の表層は大半が内膜 (細胞膜) だけで覆われており、細胞壁および外膜は外れていた。ただ、一部には外膜がついていることを確認した。

また、内部には液胞様の構造体が見られ、2-(4-アミジノフェニル)-1H-インドール-6-カルボアミジン (DAPI) により DNA を染めたところ、この液胞様構造体の内部が染まらなかったことより、細胞膜が陥入して形成されたものであると考えられた。この現象は大腸菌や枯草菌でも見られたことより、巨大化スフェロプラストの特徴の一つであると考えられる。

ロゼオバクターはバクテリオクロロフィル *a* を持っており、特徴的な吸光度スペクトルを示す (Yurkov and Beatty, 1998)。吸光度測定の結果、ロゼオバクターの巨大化スフェロプラストにはバクテリオクロロフィルの存在を確認できなかった。また、スフェロプラスト培養における培地の pH を測定したところ、明条件と暗条件での違いは見られず、光合成を確認できなかった。

好気性光合成細菌の巨大化細胞におけるバクテリオクロロフィルの分解は酸素のラジカル化を防止する役目がある可能性が高い。また、ロゼオバクターが生きていく場合、光合成は必須ではなく、呼吸によって ATP を合成することだけで生きることができると考えられた。光合成への依存度を下げることにより、生活環境の場が大きく広がったと考えられる。ただ、なぜ光合成システムを現在でも維持しているかどうかについては今後の研究課題である。

## 7. 脱巨大化

ロゼオバクターの巨大化スフェロプラストはペニシリンを添加することにより維持することは可能であったが、ペニシリンを添加しない場合には繊維化し、やがて元のサイズの細胞に戻る観察ができた (スフェロプラスト培養 70 時間程度)。電子顕微鏡観察により、巨大化細胞が繊維化する際、液胞様構造体は消失し、細胞壁および外膜が形成され、核様体 (ヌクレオイド、DNA 構造体) が繊維状構造の方へ移動していることが観察できた (図 1)。繊維化した細胞の中には隔壁が形成されているものも確認できたが、すべての繊維化細胞に隔壁が生じるかどうかについては今後の課題の一つと考えている。

細胞のサイズが元に戻った細胞は白色であり、カロテノ

イドを欠くことを示していた。さらに吸光度測定により、白色細胞はバクテリオクロロフィルも欠いていた。暗条件の培養の場合、白色細胞は 400 時間程度経過すると赤色に戻り (カロテノイド再合成)、吸光度測定の結果、バクテリオクロロフィルの再合成を確認した (図 1)。しかし、明条件の場合、白色細胞のままであり、カロテノイドおよびバクテリオクロロフィルの再合成は確認できず、それらの合成が連続照射光によって阻害されたことを示した。

すなわち、ロゼオバクターはスフェロプラスト化、細胞巨大化、細胞繊維化、細胞分裂を経て元の細胞に戻ったと考えられる (図 1)。細胞のサイズが元に戻った後、細胞膜における光合成装置の再構築が行われたと考えられる。巨大化細胞中には遺伝情報である DNA が大量に蓄積しており、それが繊維化を経て、細胞一つ一つに分配されたと考えられる。ロゼオバクターは通常二分裂で増殖しているにもかかわらず、それ以外の方法により遺伝情報である DNA を分配し、細胞分裂したことになる。

この細胞巨大化、脱巨大化においては遺伝子操作を行っていない。ロゼオバクターの巨大化細胞においても遺伝情報の維持・管理が問題なく行われていたと考えられ、そのため、細胞壁や外膜の再合成および細胞膜の再構築を経て最終的には元の細胞に戻ったと考えられる。

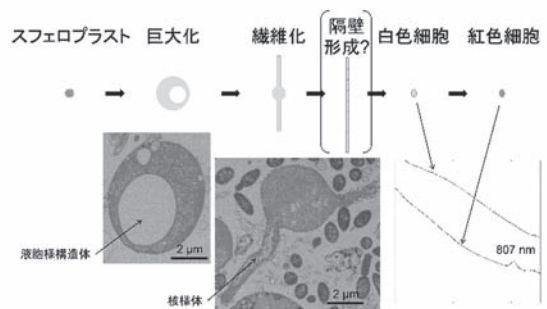


図 1 ロゼオバクターの細胞巨大化・脱巨大化

## 8. 考察

「なぜバクテリアは二分裂するか？」という生物学において極めて根源的・本質的な問題を一般的な生物学 (生物科学) の実験手法で解明することは困難である。その理由は、生物学の実験では常にコントロール (対照実験) を必要とすることにある。すなわち、二分裂ではない細胞分裂について理解・把握した上で、生物の共通祖先 (地球に最初に誕生した細胞) の細胞分裂を想定し、その共通祖先の細胞分裂システムからどのように現在の二分裂へ進化したかを紐解かなければ、先の問題に答えることができない。単なる比較生物学、比較生物実験では太刀打ちできない問題の一つである。

真核細胞の誕生は原核細胞の存在を前提にしているため、地球に最初に誕生した細胞は原核細胞であったという



共通認識があると筆者は考えている。また、最初に出現した細胞には細胞壁はなかったという仮説 (Errington, 2013) は正しいように感じられ、そうであれば、二分分裂は困難であったと考えることに違和感はない。

さて、マイコプラズマのグループは現存しているバクテリアの中において細胞壁を欠く系統群である。絶対寄生性を示し、人工的に培養することができない。分子系統進化学解析の結果、マイコプラズマは生物進化において最も根源的な系統樹の根元に位置していない。クロストリジウムやバチルスに近縁であることが示されている (Woese et al., 1980)。よって、マイコプラズマは生物の共通祖先の細胞壁を欠くという形質を継承してきたのではなく、細胞壁を欠失する方向に進化したバクテリアであり、細胞壁合成に関する遺伝子をマイコプラズマの祖先は持っていたが、現在では欠失していると考えられる。マイコプラズマに細胞壁を合成させることは極めて困難であるか、もしくはできず、細胞壁の有無を比較することはできない。

これに対して、L フォームのバクテリアは細胞壁を有するバクテリアが特定の刺激や条件のもとに細胞壁合成能を失ったものであり、それらを研究材料として用いることにより、細胞壁の役割や細胞分裂の様式を比較することが可能である。その発見は古いにもかかわらず (Klieneberger, 1935)、近年、研究が活発化しているのは生物進化的な意味合いが強く意識されるようになってきたからであると筆者は考えている。実際、L フォームのバクテリアの細胞分裂は多様性があり、伸びたり、千切れたりし、対称性のない細胞分裂を行う (Errington, 2013)。

われわれの研究材料は L フォームではなく、スフェロプラストである。一般的にスフェロプラストやプロトプラストは増殖も分裂もしないと認識されているため、遺伝情報の分配や細胞分裂のモデルとしては扱われていない。しかし、スフェロプラストを培養 (インキュベーション) して巨大化させることにより、従来のスフェロプラストとは異なる姿を見せ、遺伝情報分配と細胞分裂のモデルとなり得ることがわかってきた。

細胞表層形成にかかわる遺伝子変異によって L フォームを示すバクテリアになることから、L フォームは遺伝子変異により表現型として細胞壁を失ったものと考えられる。これに対して、リゾチーム処理により細胞壁を取り除かれたスフェロプラストは細胞壁を欠いた状態ではあるが、細胞壁合成能を失ったわけではない。実際、細胞壁の合成ができる状況になれば元の細胞へ戻ることができる。

これまでの巨大化スフェロプラストの実験は細胞膜の性状を研究することが主目的であったため、巨大化から脱巨大化への変化については調べられていない。われわれは脱巨大化の過程を観察することより、遺伝情報の分配と細胞

の分裂が協調的に生じなければ、元の細胞には戻れないという当然のことを再確認した。また、脱巨大化の過程において細胞形態が大きく変化し、その変化が細胞壁や外膜の形成によって生じていることを確認している。大腸菌の (巨大化されていない) スフェロプラストから元の細胞に戻る際に必要なタンパク質の解析についての報告もある (Ranjit and Young, 2013)。

L フォームのバクテリアの細胞分裂やスフェロプラストからの細胞再生を観察することにより、おそらく生物の共通祖先も同じような細胞分裂を行っていたと想像する。その細胞分裂の様式は決まったものではないが、対称性を欠いた細胞分裂であったと考えられる。また、細胞分裂の際に遺伝情報が分配されることは言及するまでもない。ただ、対称性を欠く状態において、遺伝情報の分配がされていない細胞分裂が生じているか否かの確認を今後行う必要があると考えている。

対称性を欠く細胞分裂は均一化とは程遠く、細胞の多様性を生み出す原動力になると考えられる。さらに、細胞壁を失った細胞では細胞壁がある場合に比べて細胞外からの DNA の取り込み率が上昇していると考えられる (これも今後確認しなければならない)。また、細胞外への DNA の放出も生じていたのではないだろうか。もし、そうであれば、地球に最初に出現した細胞においては遺伝情報のシャッフルが頻繁に行われていたと考えられる。細胞が地球に存在し始めた頃はこのような細胞多様性を増大させる方向への進化的圧力がかかっていたのではないだろうか。その後、それぞれの細胞は遺伝情報をより正確に次世代へ継承できるシステムを構築、あるいはそのような生物が選択され、現在のような対称性を持つ二分分裂を中心とする細胞分裂システムが安定化・固定化されたのかもしれない。

現存するバクテリアにおいては外来性の DNA (ウイルス、プラスミド、トランスポゾンなど) のグアニン・シトシン含量 (GC 含量) が宿主細胞のクロモソーム DNA の GC 含量よりも低いことが知られている (Nishida, 2012a; Nishida, 2013; Rocha and Danchin, 2002)。この GC 含量の偏りが進化や生態と深く関連していることが示されつつある (Nishida, 2012b; Wu et al., 2014)。ただ、その偏りをもたらしている選択が遺伝情報の取り込みの際に生じているのか、取り込み以降に生じているかについては解明されていない。現在、その解明を目指して巨大化細胞を用いた実験を行っている。

また、スフェロプラストの巨大化に成功したロゼオバクター・リトラリスには 4.5 メガ塩基対からなるクロモソームと 94 キロ塩基対、83 キロ塩基対、64 キロ塩基対からなる 3 つのプラスミドが存在している (Kalhoefer et al., 2011)。現在、これらの遺伝情報が細胞巨大化および脱巨

大化においてどのような挙動をしているかについて解析を行っている。

## 9. 本研究の意義

ES 細胞や iPS 細胞のインパクトの強さは動物細胞を初期化したことにある。では、「バクテリアを初期化する」ことは可能であろうか。この問題は技術の問題ではなく、哲学の問題である。バクテリアは数十億年をかけて細胞分裂を繰り返し、現在のように多様化（進化）した。動物のように受精卵という開始点を容易に定義することができない生物である。よって、初期化の意味しているところは地球に最初に出現した細胞に戻ることを意味しており、バクテリアだけの問題ではなくなる。

さて、生物工学系のプログラムの中には「細胞工学」や「ゲノム工学」というものがある。細胞分裂は「細胞工学」、遺伝情報分配は「ゲノム工学」の範疇に入るような気がするが、ここで述べたように、両者を切り離すことは意味がない。また、完全に化学合成した DNA が遺伝情報として機能することが確かめられ (Gibson et al., 2010)、ゲノム塩基配列を設計して人工ゲノム DNA を合成する時代が到来するかもしれないが、それが機能するためには細胞が必要である。そのためには様々な機能タンパク質が埋め込まれた細胞膜を準備しなければならない。ゲノム合成が「ゲノム工学」、細胞膜合成が「細胞工学」で取り扱う題材としても、両者を切り離しては意味がない。自立的に増殖するためには遺伝情報として膜を合成できる情報が刻み込まれ、その情報が細胞で発現し、細胞分裂と連動する必要があるからだ。

われわれが研究しているバクテリアの細胞巨大化・脱巨大化は「細胞工学」と「ゲノム工学」を融合したようなものであり、そこから導かれる結果は「バクテリアにおける初期化」の研究に一石を投じるものであると信じている。また、細胞工学およびゲノム工学における巨大化細胞の応用研究の材料としての価値は計り知れないと考えている。

## 謝辞

ロゼオバクター・リトラリスの細胞巨大化・脱巨大化の実験は本学工学部生物工学科 4 年生の野尻茜さんが行いました。また、本研究はキャンノン財団からの研究助成金「理想の追求」の一部を使用して行いました。厚くお礼申し上げます。

## 引用文献

Bredt W, Heunert HH, Höfling KH, Milthaler B (1973) Microcinematographic studies of *Mycoplasma hominis* cells. *Journal of Bacteriology*, 113, 1223-1227.

Errington J (2013) L-form bacteria, cell walls and the origins of life. *Open Biology*, 3, 120143.

Gibson DG, Glass JI, Lartigue C, Noskov VN, Chuang RY, Algire MA, Benders GA, Montague MG, Ma L, Moodie MM, Merryman C, Vashee S, Krishnakumar R, Assad-Garcia N, Andrews-Pfannkoch C, Denisova EA, Young L, Qi ZQ, Segall-Shapiro TH, Calvey CH, Parmar PP, Hutchison CA 3rd, Smith HO, Venter JC (2010) Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. *Science*, 329, 52-56.

Kalhoefer D, Thole S, Voget S, Lehmann R, Liesegang H, Wollher A, Daniel R, Simon M, Brinkhoff T (2011) Comparative genome analysis and genome-guided physiological analysis of *Roseobacter litoralis*. *BMC Genomics*, 12, 324.

Kashiyama Y, Yokoyama A, Kinoshita Y, Shoji S, Miyashiyama H, Shiratori T, Suga H, Ishikawa K, Ishikawa A, Inouye I, Ishida K, Fujinuma D, Aoki K, Kobayashi M, Nomoto S, Mizoguchi T, Tamiaki H (2012) Ubiquity and quantitative significance of detoxification catabolism of chlorophyll associated with protistan herbivory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109, 17328-17335.

Klieneberger E (1935) The natural occurrence of pleuropneumonia-like organism in apparent symbiosis with *Striptobacillus moniliformis* and other bacteria. *Journal of Pathology and Bacteriology*, 40, 93-105.

Kuroda T, Okuda N, Saitoh N, Hiyama T, Terasaki Y, Anazawa H, Hirata A, Mogi T, Kusaka I, Tsuchiya T, Yabe I (1998) Patch clamp studies on ion pumps of the cytoplasmic membrane of *Escherichia coli*. *Journal of Biological Chemistry*, 272, 16897-16904.

Mercier R, Kawai Y, Errington J (2013) Excess membrane synthesis drives a primitive mode of cell proliferation. *Cell*, 152, 997-1007.

Nakamura K, Ikeda S, Matsuo T, Hirata A, Takehara M, Hiyama T, Kawamura F, Kusaka I, Tsuchiya T, Kuroda T, Yabe I (2011) Patch clamp analysis of the respiratory chain in *Bacillus subtilis*. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1808, 1103-1107.

- Nishida H (2012a) Comparative analyses of base compositions, DNA sizes, and dinucleotide frequency profiles in archaeal and bacterial chromosomes and plasmids. *International Journal of Evolutionary Biology*, 2012, 342482.
- Nishida H (2012b) Evolution of genome base composition and genome size in bacteria. *Frontiers in Microbiology*, 3, 420.
- Nishida H (2013) Genome DNA sequence variation, evolution, and function in bacteria and archaea. *Current Issues in Molecular Biology*, 15, 19-24.
- Niyogi KK, Björkman O, Grossman AR (1997) *Chlamydomonas* xanthophyll cycle mutants identified by video imaging of chlorophyll fluorescence quenching. *Plant Cell*, 9, 1369-1380.
- Niyogi KK, Grossman AR, Björkman O (1998) *Arabidopsis* mutants define a central role for the xanthophyll cycle in the regulation of photosynthetic energy conversion. *Plant Cell*, 10, 1121-1134.
- Nojiri A, Ogita S, Isogai Y, Nishida H (2015) Characterization of giant spheroplasts generated from the aerobic anoxygenic photosynthetic marine bacterium *Roseobacter litoralis*. *Journal of General and Applied Microbiology*, in press.
- Paradis-Bleau C, Markovski M, Uehara T, Lupoli TJ, Walker S, Kahne DE, Bernhardt TG (2010) Lipoprotein cofactors located in the outer membrane active bacterial cell wall polymerases. *Cell*, 143, 1110-1120.
- Ranjit DK, Young KD (2013) The Rcs stress response and accessory envelop proteins are required for *de novo* generation of cell shape in *Escherichia coli*. *Journal of Bacteriology*, 195, 2452-2462.
- Rocha EP, Danchin A (2002) Base composition bias might result from competition for metabolic resources. *Trends in Genetics*, 18, 291-294.
- Typas A, Banzhaf M, van den Berg van Saparoea B, Verheul J, Biboy J, Nichols RJ, Zietek M, Beilharz K, Kannenberg K, von Rechenberg M, Breukink E, den Blaauwen T, Gross CA, Vollmer W (2010) Regulation of peptidoglycan synthesis by outer-membrane proteins. *Cell*, 143, 1097-1109.
- Yurkov VV, Beatty JT (1998) Aerobic anoxygenic phototrophic bacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 62, 695-724.
- Woese CR, Maniloff J, Zablen LB (1980) Phylogenetic analysis of the mycoplasmas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 77, 494-498.
- Wu H, Fang Y, Yu J, Zhang Z (2014) The quest for a unified view of bacterial land colonization. *ISME Journal*, 8, 1358-1369.

# Genetic information distribution and cell division

Hiromi Nishida

Department of Biotechnology

It is common that DNA, genetic information, is duplicated, and then, each DNA is distributed into each cell during the cell division. Most of single cell organisms like bacteria have grown mainly by a symmetric binary fission. However, it is uncertain whether a common ancestor of organisms had the symmetric binary fission system or not. The photosynthetic marine bacterium *Roseobacter litoralis* cell was elongated and the nucleoid was transferred into the filamentous structure during the recovery from the giant spheroplasts. It may be a prototype of DNA distribution and cell division, which may produce more genetic variation than symmetric binary fission.

Keywords: bacteria, cell division, DNA replication, genetic information, giant cell