



2025 年 3 月 4 日

大阪公立大学

大阪大学

理化学研究所

東北大学

マイコプラズマの滑走運動に必要なモーターの分子構造を世界で初めて明らかに！

<概要>

マイコプラズマ属細菌の一つで淡水魚の病原菌であるマイコプラズマ・モービレは、菌体の片側にある“滑走装置”を用いて宿主組織の表面にはりつき、滑るように動く“滑走運動”を行います。

大阪公立大学大学院理学研究科の宮田 真人教授、豊永 拓真助教（研究当時、現在 東北大学多元物質科学研究所 助教）らと大阪大学大学院生命機能研究科日本電子 YOKOGUSHI 協働研究所の難波 啓一特任教授（常勤）、理化学研究所の川上 恵典研究員、東北大学多元物質科学研究所の濱口 祐准教授らの共同研究グループは、大阪大学のクライオ電子顕微鏡^{*1}を用いて、滑走運動の装置を構成するモーター部分の分子構造を、世界で初めて近原子分解能^{*2}で明らかにしました（図1）。またモーターを構成する2つのユニットの分子構造は、それぞれ既知のATP合成酵素^{*3}と類似しているものの、それらが組み合わさって前例のない複合体構造を形成していることが分かりました。本成果は、ATP合成酵素とマイコプラズマの運動装置の進化についてさらなる理解を促進するとともに、マイコプラズマ感染症の治療薬開発の基盤知見となることが期待されます。

本研究成果は、2025 年 2 月 27 日に、国際学術誌「Science Advances」のオンライン速報版に掲載されました。

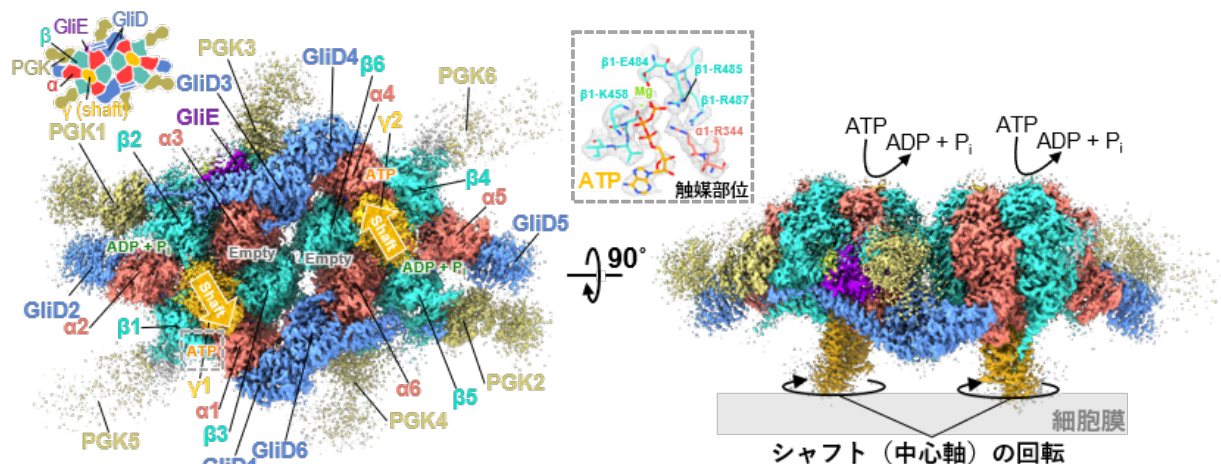


図1 本研究で明らかになった滑走装置のモーターを構成する2つのユニットの分子構造

<研究の背景>

ヒトに肺炎を起こす病原細菌などとして知られるマイコプラズマ (*Mycoplasma*) の仲間は、系統的に小さなグループであるにも関わらず、その中に 3 種類もの独自の運動能を有しています。地球上の生命の既知の運動能が全部で 18 種類であることを考えると、この数字は特筆に値します。本研究グループは、1997 年からこれら 3 種の運動能のしくみを明らかにしてきました。2021 年に、毎秒最大 4 マイクロメートルで宿主細胞上を滑走運動するマイコプラズマ・モービレ (*Mycoplasma mobile*) の滑走装置モーターを単離し大まかな形状を可視化することで、モーターが ATP 合成酵素に類似していることを明らかにしていました (図 2)。

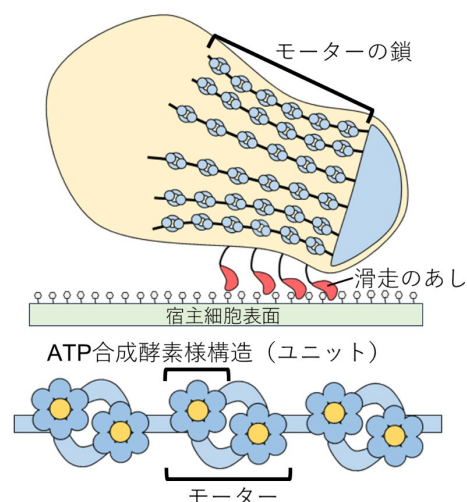


図 2 マイコプラズマ・モービレおよび滑走装置のモーターの模式図

<研究の内容>

本研究では、マイコプラズマ・モービレ滑走運動装置のうち、モーター部分の構成アミノ酸や結合する ATP などの詳細な構造について、大阪大学のクライオ電子顕微鏡を用いて、個々の分子を明瞭に観察可能な近原子分解能である 3.1 オングストローム^{*4}で明らかにしました。その構造は、24 のタンパク質、約 12500 のアミノ酸から構成され、縦 35・横 25・高さ 15 ナノメートルからなる巨大なものでした。興味深いことに、モーターを構成する 2 つのユニットそれぞれに存在するシャフト（中心軸）部分が同じ段階で止まっており、それぞれのユニット中に含まれる ATP の加水分解状態も保存されていたことから、2 つのユニットが同調して回転していることが示唆されました。また、ユニット間で既知の ATP 合成酵素とは異なる部品によって結合することで、新しい様式の二量体構造を形成しており、ATP 合成酵素とマイコプラズマ運動能の進化についても新しい知見が得られました。

<期待される効果・今後の展開>

本成果は、ATP 加水分解のエネルギーがどのように滑走運動の動きに変換されるかの作用メカニズムや、ATP 合成酵素から進化したと考えられるマイコプラズマ・モービレのモーターについて、さらなる理解を促進するものです。

また、ナノロボットアクチュエーターへの応用やマイコプラズマ感染症の治療薬を開発するための基盤になることが期待されます。

<資金情報>

本研究は、JSPS 科研費 基盤 (A) (JP17H01544)、JST CREST (PMJCR19S5)、AMED BINDS (JP22am121003) からの助成を受けて実施しました。また、モーターの構造解析には、大阪大学 JEOL YOKOGUSHI 提携研究所のクライオ電子顕微鏡を用いました。

<用語解説>

※1 クライオ電子顕微鏡…タンパク質などの生体分子を水溶液中の生理的な環境に近い状態で、電子顕微鏡で観察するために開発された手法。試料を含む溶液を液体エタン（約－180℃）に落下させて急速凍結し、アモルファス（非晶質、ガラス状）な薄い氷に包埋し、これを液体窒素（－196℃）条件下で、透過型電子顕微鏡で観察する。電子顕微鏡内の真空中で試料は凍結状態を保持でき、また、冷却することにより電子線の照射による損傷を減らすことができる。

※2 近原子分解能…分解能はどのくらい細かくものを「見る」ことができるかの指標で、数値が小さい程分解能が高いといえ、物質をより精細に観測できる。近原子分解能は、個々の原子を区別できるほどに迫る分解能を指す。

※3 ATP 合成酵素…ほとんどの生物に存在するナノスケールの回転分子モーター。真核生物のミトコンドリア内膜や細菌の細胞膜において、水素イオンの流れを回転エネルギーに変換し、その回転によって「生命のエネルギー通貨」である ATP を合成する。

※4 オングストローム（Å）…長さの単位であり、1 オングストローム（Å）は 100 億分の 1 メートルを指す。

<掲載誌情報>

【発表雑誌】 Science Advances

【論文名】 Dimeric assembly of F₁-like ATPase for the gliding motility of *Mycoplasma*

【著者】 Takuma Toyonaga（大阪公大）, Takayuki Kato（大阪大）,
Akihiro Kawamoto（大阪大）, Tomoko Miyata（大阪大）,
Keisuke Kawakami（理研）, Junso Fujita（大阪大）, Tasuku Hamaguchi
（東北大）, Keiichi Namba（大阪大）, Makoto Miyata（大阪公大）

【掲載 URL】 <https://doi.org/10.1126/sciadv.adr9319>

【研究内容に関する問い合わせ先】
大阪公立大学大学院理学研究科
教授 宮田 真人（みやた まこと）
TEL：080-3118-2060
E-mail：miyata@omu.ac.jp

大阪大学大学院生命機能研究科
日本電子 YOKOGUSHI 協働研究所
特任教授（常勤） 難波 啓一（なんば けいいち）
TEL：06-6879-4625
E-mail：namba.keiichi.fbs@osaka-u.ac.jp

理化学研究所放射光科学研究センター
生体機構研究グループ
川上 恵典（かわかみ けいすけ）
TEL：050-3502-5647
E-mail：keisuke.kawakami@riken.jp

東北大学 多元物質科学研究所
濱口 祐（はまぐち たすく）
TEL：022-217-5381
E-mail：tasuku.hamaguchi.c3@tohoku.ac.jp

【報道に関する問い合わせ先】
大阪公立大学 広報課
担当：竹内
TEL：06-6967-1834
E-mail：koho-list@ml.omu.ac.jp

大阪大学生命機能研究科 庶務係
TEL：06-6879-4692
E-mail：seimei-syomu@office.osaka-u.ac.jp

理化学研究所 広報室 報道担当
TEL：050-3495-0247
E-mail：ex-press@ml.riken.jp

東北大学 多元物質科学研究所
TEL：022-217-5198
E-mail：press.tagen@grp.tohoku.ac.jp