

領域略称名：運動マシナリー
領域番号：3407

平成29年度科学研究費補助金「新学術領域研究
(研究領域提案型)」に係る事後評価報告書

「運動超分子マシナリーが織りなす調和と多様性」

(領域設定期間)

平成24年度～平成28年度

平成29年6月

領域代表者 (大阪市立大学・大学院理学研究科・教授・宮田 真人)

目 次

1. 研究領域の目的及び概要	9
2. 研究領域の設定目的の達成度	11
3. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況	14
4. 審査結果の所見及び中間評価の所見等で指摘を受けた事項への対応状況	15
5. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	17
6. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）	20
7. 研究組織（公募研究を含む。）と各研究項目の連携状況	25
8. 研究経費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）	27
9. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度	31
10. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況	32
11. 総括班評価者による評価	33

研究組織 (総括：総括班，計画：総括班以外の計画研究，公募：公募研究)

研究項目	課題番号 研究課題名	研究期間	代表者氏名	所属機関 部局 職	構成員数
X00 総括	24117001 運動超分子マシナリーが 織りなす調和と多様性の 総括	平成24年度～ 平成28年度	宮田 真人	大阪市立大学・大学院理学研究科・教授	19
A01 計画	24117002 マイコプラズマ滑走運動 のメカニズム	平成24年度～ 平成28年度	宮田 真人	大阪市立大学・大学院理学研究科・教授	3
A01 計画	24117003 タンパク質の分泌を駆動 する反復モータの作動原 理の解明	平成24年度～ 平成28年度	森 博幸	京都大学・ウイルス研究所・准教授	2
A02 計画	24117004 べん毛超分子モーターの 運動エネルギー変換メカ ニズム	平成24年度～ 平成28年度	本間 道夫	名古屋大学・大学院理学研究科・ 教授	3
A02 計画	24117005 ハイブリット型生物モータ ーのイオン選択透過分子 機構の解明	平成24年度～ 平成28年度	伊藤 政博	東洋大学・生命科学部・教授	3
A03 計画	24117006 バクテロイデーテス細菌 の滑走運動マシナリーの 構造とダイナミクス	平成24年度～ 平成28年度	中山 浩次	長崎大学・大学院医歯薬学総合研究 科・教授	2
A03 計画	24117007 磁気応答運動マシナリー の構造機能相関	平成24年度～ 平成28年度	福森 義宏	金沢大学・理工研究域自然システム学 系・教授	2
A03 計画	24117008 アメーバ運動を統御する アクチン構造多型マシナ リー	平成24年度～ 平成28年度	上田 太郎	早稲田大学・先進理工学部・教授	8
統括・支援・計画研究 計 8 件					
A01 公募	25117502 膜運動を生み出す小胞 形成マシナリーの作動機 構の解明	平成25年度～ 平成26年度	佐藤 健	東京大学・大学院総合文化研究科・准 教授	2

A01 公募	25117503 モーター超分子複合体の分子構築と運動制御機構の解明	平成25年度～平成26年度	豊島 陽子	東京大学・大学院総合文化研究科・教授	2
A01 公募	25117504 マイコプラズマGli349タンパク質の構造ダイナミクス解析	平成25年度～平成26年度	新井 宗仁	東京大学・大学院総合文化研究科・准教授	1
A01 公募	25117511 極限環境下にある超好熱始原菌の運動観察	平成25年度～平成26年度	西山 雅祥	京都大学・大学院医学研究科・研究員	1
A01 公募	25117512 ESR動的解析法による筋運動スイッチマシナリーと常磁性イオン流モーターの解明	平成25年度～平成26年度	荒田 敏昭	大阪市立大学・大学院理学研究科・特任教授	6
A01 公募	25117520 イカダケイソウのミオシン様タンパク質の同定	平成25年度～平成26年度	園部 誠司	兵庫県立大学・生命理学研究科・准教授	1
A01 公募	25117521 真核生物鞭毛の滑走運動:その生理的意味とメカニズム	平成25年度～平成26年度	神谷 律	中央大学・理工学研究科・共同研究員	1
A01 公募	25117523 アクチントレッドミリングによるアメーバ細胞運動の原子構造解析に基づく解明	平成25年度～平成26年度	若林 健之	帝京大学・理工学部・教授	1
A01 公募	25117527 線虫精子のアメーバ運動メカニズム	平成25年度～平成26年度	島袋 勝弥	宇部工業高等専門学校・物質工学科・准教授	1
A01 公募	25117530 肺炎マイコプラズマの接着滑走マシナリーの微細構造解明と構成タンパク質の構造解析	平成25年度～平成26年度	見理 剛	国立感染症研究所・細菌第二部・室長	3
A01 公募	15H01308 多機能運動装置ハプトネマが示す新規微小管系屈曲運動のメカニズム	平成27年度～平成28年度	稲葉 一男	筑波大学・下田臨海実験センター・教授	3

A01 公募	15H01310 ダイニンと制御タンパク質の超分子複合体による多様な運動モードの制御マシナリー	平成27年度～平成28年度	豊島 陽子	東京大学・大学院総合文化研究科・教授	2
A01 公募	15H01311 マイコプラズマ滑走タンパク質の構造ダイナミクス解析	平成27年度～平成28年度	新井 宗仁	東京大学・大学院総合文化研究科・准教授	2
A01 公募	15H01316 軸糸微小管翻訳後修飾による軸糸ダイニンの運動活性変化	平成27年度～平成28年度	池上 浩司	浜松医科大学・医学部・准教授	3
A01 公募	15H01319 極限環境下にある深海微生物の生存戦略イメージング	平成27年度～平成28年度	西山 雅祥	京都大学・白眉センター・特定准教授	2
A01 公募	15H01328 真核生物鞭毛の表面運動:現象の普遍性と膜ダイナミクス	平成27年度～平成28年度	神谷 律	中央大学・理工学研究科・共同研究員	1
A01 公募	15H01337 肺炎マイコプラズマの接着滑走マシナリーの微細構造解明と構成タンパク質の構造解析	平成27年度～平成28年度	見理 剛	国立感染症研究所・細菌第二部・室長	3
A02 公募	25117505 ATP合成酵素を中心としたイオン駆動型分子モーターの普遍的作動原理の解明	平成25年度～平成26年度	渡邊 力也	東京大学・大学院工学系研究科・講師	2
A02 公募	25117510(廃止) べん毛モーター蛋白質の全反射赤外分光解析	平成25年度～平成25年度	神取 秀樹	名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授	1
A02 公募	15H01312 膜電位駆動型分子モーターの運動制御機構の解明	平成27年度～平成28年度	渡邊 力也	東京大学・大学院工学系研究科・講師	2

A02 公募	15H01330 免疫細胞におけるインテグリン動態制御マシナリーの解明	平成27年度～平成28年度	錦見 昭彦	北里大学・理学部・准教授	2
A02 公募	15H01332 バクテリアべん毛モーターの超分子構築過程の解析	平成27年度～平成28年度	曾和 義幸	法政大学・生命科学部・准教授	1
A03 公募	25117501 スピロヘータの推進力発生メカニズム	平成25年度～平成26年度	中村 修一	東北大学・大学院工学研究科・助教	1
A03 公募	25117506 真核生物鞭毛軸系における運動調節超分子の規則的配列機構	平成25年度～平成26年度	若林 憲一	東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授	1
A03 公募	25117507 黄色ブドウ球菌の新規移動様式の分子機構	平成25年度～平成26年度	垣内 力	東京大学・大学院薬学研究科・准教授	2
A03 公募	25117508 青色光に依存したシアノバクテリア光走性の分子メカニズム	平成25年度～平成26年度	増田 真二	東京工業大学・バイオ研究基盤支援総合センター・准教授	1
A03 公募	25117509 細胞質分裂をつかさどる逆平行微小管超分子マシナリーが動く仕組み	平成25年度～平成26年度	上原 亮太	北海道大学・創成研究機構・特任助教	1
A03 公募	25117513 ミドリムシにおける走光性制御マシナリーの解明	平成25年度～平成26年度	岩崎 憲治	大阪大学・蛋白質研究所・准教授	4
A03 公募	25117514 繊毛群のメタクロナルウェーブ伝達機構	平成25年度～平成26年度	岩楯 好昭	山口大学・創成科学研究科・准教授	1
A03 公募	25117515 筋肉の超分子マシナリー「サルコメア」の構築と恒常性維持機構	平成25年度～平成26年度	武谷 立	宮崎大学・医学部・教授	1
A03 公募	25117516 新たな染色体分配因子の運動と機能の分子機構解析	平成25年度～平成26年度	片山 勉	九州大学・薬学研究院・教授	1

A03 公募	25117517 運動マシナリーとしての AAA型分子シャペロン	平成25年度～ 平成26年度	小椋 光	熊本大学・発生医学研究所・教授	2
A03 公募	25117518 糸状性光合成細菌クロロ フレクサス アグリガンス の高速滑走運動を可能 にする分子機構	平成25年度～ 平成26年度	春田 伸	首都大学東京・理工学研究科・准教授	1
A03 公募	25117519 プラスミド分配を制御す るTubZ重合分子モータ ーの構造機能解析	平成25年度～ 平成26年度	林 郁子	横浜市立大学・生命医科学研究科・准 教授	3
A03 公募	25117522 分裂酵母収縮環のin vi tro収縮系を用いた細胞 質分裂の機構解明	平成25年度～ 平成26年度	馬淵 一誠	東京大学・名誉教授	2
A03 公募	25117525 アクチンの構造多型性・ 協同性・応答特性の分子 機構	平成25年度～ 平成26年度	高野 光則	早稲田大学・先進理工学部・教授	2
A03 公募	25117526 バクテリア滑走マシナリ ーの幾何学と力学	平成25年度～ 平成26年度	和田 浩史	立命館大学・理工学部・教授	2
A03 公募	25117528 バクテリア細胞骨格タン パク質複合体の構築と制 御機構の解析	平成25年度～ 平成26年度	塩見 大輔	立教大学・理学部・准教授	1
A03 公募	25117529 精子競争により進化し多 様化した運動マシナリー のモデル化	平成25年度～ 平成26年度	野口 立彦	防衛医科大学校医学教育部医学科・ 助教	1
A03 公募	15H01306 原生動物の宿主細胞侵 入マシナリーの作動原理 の解明と構造解析	平成27年度～ 平成28年度	加藤 健太郎	帯広畜産大学・原虫病研究センター・ 特任准教授	2
A03 公募	15H01307 スピロヘータ運動の変形 と力学	平成27年度～ 平成28年度	中村 修一	東北大学・大学院工学研究科・助教	3

A03 公募	15H01309 運動タンパク質素子による原形質流動の自律的構築	平成27年度～平成28年度	伊藤 光二	千葉大学・大学院理学研究院・教授	1
A03 公募	15H01313 重合体フィラメントの動的構造多型と結合タンパクの協同的結合の構造機能相関の解明	平成27年度～平成28年度	須河 光弘	東京大学・大学院総合文化研究科・助教	3
A03 公募	15H01314 クラミドモナス走光性発現メカニズムとその分子基盤	平成27年度～平成28年度	若林 憲一	東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授	1
A03 公募	15H01315 細菌の浮揚性を司るガス小胞の構造と運動多様性出現機構の解明	平成27年度～平成28年度	田代 陽介	静岡大学・工学部・助教	1
A03 公募	15H01317 微小管先端運動マシナリー構築	平成27年度～平成28年度	五島 剛太	名古屋大学・大学院理学研究科・教授	1
A03 公募	15H01318 In vivo細胞集団動態制御と運動マシナリー	平成27年度～平成28年度	進藤 麻子	名古屋大学・大学院理学研究科・助教	4
A03 公募	15H01320 膜運動におけるリン脂質の量的・質的変化の作用機序	平成27年度～平成28年度	申 惠媛	京都大学・大学院薬学研究科・准教授	1
A03 公募	15H01321 外力が駆動する細胞集団運動を支えるアクチン細胞骨格制御の解明	平成27年度～平成28年度	杉村 薫	京都大学・物質-細胞統合システム拠点・特定拠点准教授	1
A03 公募	15H01322 病原性IV型分泌マシナリーの全構造解析	平成27年度～平成28年度	久堀 智子	岐阜大学・大学院医学系研究科・准教授	4
A03 公募	15H01323 細胞弾性で伝わる繊毛メタクロナルウェーブの分子メカニズムと普遍性	平成27年度～平成28年度	岩楯 好昭	山口大学・創成科学研究科・准教授	1

A03 公募	15H01325 細胞内アクチン繊維及び再構成アクチン繊維の動的構造変化の検出	平成27年度～平成28年度	安永 卓生	九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授	1
A03 公募	15H01326 重合分子モーターにより制御されるプラスミド分配装置の分子機構	平成27年度～平成28年度	林 郁子	横浜市立大学・生命医科学研究科・准教授	3
A03 公募	15H01327 軸糸直径変化による鞭毛繊毛運動の調節機構	平成27年度～平成28年度	八木 俊樹	県立広島大学・生命環境学部・教授	1
A03 公募	15H01329 べん毛を持たずに高速遊泳運動をするバクテリア	平成27年度～平成28年度	中根 大介	学習院大学・理学部・助教	2
A03 公募	15H01331 高温平面で細胞の移動を促す線毛運動のメカニズム	平成27年度～平成28年度	玉腰 雅忠	東京薬科大学・生命科学部・准教授	2
A03 公募	15H01333 バクテリア形態形成を制御する複合体の動態と機能解析	平成27年度～平成28年度	塩見 大輔	立教大学・理学部・准教授	1
A03 公募	15H01334 アメーバ運動の兵站を制御する微小管の共同的構造多型変換	平成27年度～平成28年度	岡田 康志	国立研究開発法人理化学研究所・生命システム研究センター・チームリーダー	2
A03 公募	15H01335 協調的アメーバ運動を司る局所的膜電位ゆらぎの計測	平成27年度～平成28年度	森本 雄祐	九州工業大学・情報工学部・助教	1
公募研究 計 59 件					

1. 研究領域の目的及び概要（2ページ以内）

研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時に記述した内容を簡潔に記述してください。どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか、研究の学術的背景（応募領域の着想に至った経緯、応募時までの研究成果を進展させる場合にはその内容等）を中心に記述してください。

“動くこと”は生命の本質である。クジラのような大きな動物から、細菌に至るまで、全ての生物は動くことにより、栄養やよりよい環境を得、逆に捕食者や劣悪な環境から逃れている。生体運動は、進化や環境までも含む様々な生命現象を理解する鍵となり、時として、医学、産業などに重要なヒントを与える。

われわれヒトをはじめとする真核生物の生体運動の多くは、ミオシンやキネシン、あるいはダイニンといった“従来型のモータータンパク質”（以下、**モータータンパク質**、と省略）が担っている。この、きわめて重要で精巧な微小マシンリーは、1950年代に発見されて以来、卓越した研究者たちを魅了し続け、ついに2011年当時、その全貌をわれわれの前に現しつつあった。モータータンパク質研究は、副産物としてわれわれに多くの研究方法と微小マシンリーに対するアイデアを与えた。そこには、タンパク質化学をはじめ、遺伝子操作、構造解析技術、一分子計測などといった、様々なものが含まれる。

ところで、モータータンパク質を解明した当時、全ての生体運動メカニズムはわれわれ人類の手にあったのだろうか？ 答えはノーである。時として、種の生き残りに決定的な意味を持つ生体運動は、進化の歴史の中で、様々な局面から発生した。そこには、細菌のべん毛運動をはじめとして、細菌のべん毛に依存しない遊泳運動や固体表面上の運動、原生生物の運動など、枚挙にいとまがない。これらの運動は、それまで注目されなかった、あるいは、注目されてもそのマシンリーが高次に組織化されていて、解明があまり進んでいなかったものである。その中で最も解明が進んでいたのは“細菌のべん毛運動”である。しかし、レーウエンフックが350年前に発見していたこの現象でさえ、15年前までは、「プロトンやナトリウムなどの陽イオンが細胞外から細胞内へ流れることによってべん毛基部にあるモーターが回転する」という理解に限られていた。

ところが！である。モータータンパク質研究が大きく進展した波及効果により、2000年以降に状況は一変し、それまで全くの謎とされてきた多様な生体運動メカニズムが、次々と明らかになりつつあった。その代表が細菌のべん毛運動である。べん毛の基部には電気モーターに似た構造が存在するが、固定子の中を陽イオンが流れると、固定子に構造変化が起こり、それにより回転子の特定の部位が動かされることなどが、驚異的なペースで明らかになっていった。当時、この研究テーマは、最大の山場を迎えていた。それまでも、これらの進展の中で、日本人研究者が果たす役割は大きかったが、その比重は年々大きくなりつつあった（Sowa et al. Nature 2005 437: 916-9（本領域計画班代表、本間らによる、以下、班員の著作である場合に名前のみ示す）、Kojima et al. PNAS 2008 105: 7696-701（本間）、Terahara et al. PNAS 2008 105: 14359-64（伊藤））。彼らの研究をさらに推進すれば、レーウエンフック以来人類350年の謎が、日本人の手によって解明されることが大いに期待された。新しい運動メカニズムの解明という流れは、べん毛運動にとどまらず、他の生体運動についても見られる。その中で日本人の貢献として、(1) 病原細菌、マイコプラズマの滑走運動について、滑走の装置の構造やエネルギー源を次々に明らかにし、ついには力発生メカニズムの本質に迫れるようになっていった（Miyata Annu Rev Microbiol 2010 64: 519-37（宮田））、(2) 多くの細菌は、繊維状の構造物を膜を横切るように押し出したり引き込んだりすることで動くが、その動き発生のメカニズムの本質に迫りつつあった（Tsukazaki, Mori et al. Nature 2011 474: 235-8（森）、Minamino & Namba Nature 2008 451: 485-8（南野））、(3) 動物細胞やアメーバなどの運動の力発生にはモータータンパク質によるもの以外に細胞骨格繊維の重合・脱重合によるものが存在し、後者の方が進化的に古く、より基盤的であると考えられている。これらの運動を理解するには、重合・脱重合が起こる位置や方向が決定されるメカニズムを明らかにする必要がある。またこのことは、細菌細胞内における超分子複合体の運動にも当てはまる（Yamamoto et al. PNAS 2010 107: 9382-7（福森））。これを理解するには、細胞骨格繊維の構造とそのダ

イナミックな変化を明らかにすることが重要であるが、当時、その分野の研究も急速に達成されつつあった (Murakami et al. Cell 2010 143: 275-87(上田); Fujii, Namba et al. Nature 2010 467: 724-9).

これら新奇の生体運動メカニズムは全て、高度に組織化された数多くの部品からなる“運動超分子マシナリー”によるもので、マシナリーは内部での調和を保ちながら大きく動いており、さらにその多様性には 40 億年の生命の歴史が刻まれている。運動超分子マシナリーの研究を推進することは、微小マシナリーの新たな作動原理と、医学や産業における応用へのヒントをわれわれ人類にもたらすと考えられた。

本領域は、日本人の貢献により山場を迎えつつある運動超分子マシナリーの研究を強力に推進し、それぞれの力発生メカニズムの中枢を明らかにすること、先端研究との交流と支援を通じて様々な段階にある当該分野研究の全てを底上げすること、5-10 年後に大きな発展が期待できるオリジナリティーの高い萌芽的研究を育てること、を目的とした。

本領域は、「異なる学問分野の研究者が連携して行う共同研究等の推進により、当該研究領域の発展を目指すもの」に該当した。生体運動は、広範な生物種で見られるため、その研究者と候補者は、様々な視点を持ちながら様々な分野に分散しており、時としてお互いの存在と研究対象すら知らなかった。そのため本領域では、あえて所属学会や投稿雑誌などの異なる研究グループを計画班に採用することとした。本領域の遂行をきっかけとして、将来の日本、そして海外へ続く新たな研究交流の場を作ることを目標とし、実際には、この領域独自の国内会議や国際学会を開催する一方、既存の学会や研究会へ積極的に働きかけることとした。

啓発活動や公募研究の推奨により、新規参入者の発掘を行うこととした。特に、最先端の知識と技術、そして意欲をもつ、モータータンパク質研究者の参入に期待した。過去に、モータータンパク質分野の研究者がこの分野へ参入して、短期間で顕著な業績をあげているケースが多かったため、新規参入で成功した研究者の招聘、研究対象の可能性を議論するワークショップ、DVD 製作、などを計画した。計画班は、細菌の運動を扱うものが多かったが、研究は微生物や原核生物に限定しないこととした。

研究は、遺伝子操作、ゲノムサイエンス、光学顕微鏡技術、結晶構造解析、タンパク質化学、電子顕微鏡観察、など、それぞれの研究においてもっとも適した技術を用いて展開し、総括班は領域内での共同研究や技術協力を積極的に推奨し、旅費の支援なども行うこととした。

クライオトモグラフィー電子顕微鏡観察法、急速凍結レプリカ電子顕微鏡観察法、および高速 AFM、の 3 つの技術は、当該分野の研究においてしばしば決定的な情報を与える。しかし残念なことに、それぞれの事情から、領域開始時には一般の研究者が試すことのできる状態ではなかった。本領域では、総括班に技術支援部を設けて、これらの技術が班員にとって近づきやすいものになるように支援した。

2. 研究領域の設定目的の達成度（3ページ以内）

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか、また、応募時に研究領域として設定した研究の対象に照らしての達成度合いについて、具体的に記述してください。必要に応じ、公募研究を含めた研究項目ごとの状況も記述してください。

A01-1 宮田計画班: マイコプラズマ滑走運動のメカニズム

病原性、あるいは寄生性の細菌であるマイコプラズマは菌体の片側に装置を形成し、全くユニークなメカニズムで宿主表面を“滑走運動”する。宮田らは領域開始時まで、滑走の装置とその構成タンパク質、直接のエネルギー源、結合対象、などを明らかにし、運動メカニズムを説明する作業仮説を提案していた。本計画研究では、この作業仮説にさらに踏み込むため、(i) 光学顕微鏡、電子顕微鏡、結晶構造解析を用いた構造の解析、(ii) 光学顕微鏡と高速AFMを用いた構造変化の解明、を目指した。その結果、(i) について、それまでほとんど調べられていなかった滑走装置の内部構造が、15Åという解像度で解明された。明らかになった構造は、マイコプラズマの滑走装置がATP合成酵素から進化したことを示していた。またマイコプラズマ遺伝子操作法の開発により、構成タンパク質を特定することにも成功し、さらに滑走装置内部構造と菌体外部の表面構造をつなぐタンパク質の特定にも成功した。結晶化構造解析については、当初予想したよりも滑走装置が大きく複雑であることが判明して全体像の解明を優先したために、今後の課題となった。(ii) について、光学顕微鏡を用いた解析により、滑走のそれぞれの“あし”の動きについて、ストロークの大きさ、力、解離の方向性、ストロークの引き金など、メカニズムを理解するうえで必要な情報のほとんどを得ることに成功した。さらに、表面構造を失った変異株では生きのまま固定化した菌体を高速AFMで解析することで、滑走装置内部構造の動きをリアルタイムにとらえる可能性が示された。さらに上記とは別に、マイコプラズマの仲間の別の二種類の運動能を担う構造それぞれを明らかにすることに成功した。

A01-2 森計画班: タンパク質の分泌を駆動する反復モータの作動原理の解明

細菌のタンパク質膜透過は、細胞質膜を挟んで配置された2つの反復モータSecA ATPaseとSecDFによって媒介される。SecAはATP加水分解エネルギーを用いて細胞質側から基質タンパク質を押し込むことにより、SecDFは細胞質膜を挟んで形成されるプロトン駆動力のエネルギーを用いて非細胞質側から引っ張り出すことにより膜透過を駆動していると考えられるが、詳細な分子機構は明らかではない。本研究では、構造生物学的解析・生化学的解析を通して、これら2つの反復モータの作動原理を明らかにするものである。

研究期間内は、主にSecDFの解析を中心に進めた。電子顕微鏡を用いた解析から、これまでモデル構造であったI型構造状態の存在を実証した。更にX線結晶構造解析を用いてI型構造の高分解能の立体構造を明らかにすることにより、SecDFのプロトン透過経路に関する構造的基盤を得た。加えて構造情報に基づいた詳細な生化学的解析から、SecD分子内の基質結合部位を明らかにし、プロトンの透過に伴うSecD分子内ドメインの構造変化の存在と、膜透過反応における重要性を明らかにした。更には、海洋性ビブリオ菌を用いた解析から、SecDFには、Na⁺、H⁺駆動型の2種類が存在し、これらを巧みに使い分けることにより、環境変化に適応する機構を解明した。

A02-1 本間計画班: べん毛超分子モーターの運動エネルギー変換メカニズム

Na⁺駆動型べん毛モーターのエネルギー変換ユニットである固定子におけるイオン透過時のダイナミックな構造変化と、回転子相互作用を明らかにすることを目的とした。この目的を遂行するために、電子顕微鏡構造解析と回転計測の専門家を分担者に加え、エネルギー変換体の全体構造解析を進めた。回転力産生のための回転子-固定子間相互作用において、FliGとMotAの荷電残基間の静電的相互作用が重要であることが示唆されている。詳細な変異体解析により、Na⁺駆動型べん毛モーターにおいては、大腸菌のH⁺駆動

型モーターとは異なり、1 残基-1 残基間静電相互作用というよりは多残基-多残基間の相互作用がモーター機能に重要である事を明らかにできた。エネルギー変換ユニットの構造解析を進める為に、構造的・機能的に安定なべん毛を持つと予想される *A. aeolicus* の遺伝子を解析した。*A. aeolicus* の MotA/B を大腸菌 *motAB* 欠失株で発現させた時に、ナトリウム駆動型べん毛モーターとして機能するという驚くべきことを示した。*A. aeolicus* の MotA は、系統的に大きく離れているが、大腸菌のモーターと相互作用して回転力を生み出す非常にロバスタな機能相関が維持されていることが示された。*A. aeolicus* の MotA を大腸菌で発現・精製したところ、MotB 非存在下であるにもかかわらず、4量体として存在できることがわかり、モーター構築に新しい概念を導入した。この精製 MotA を電子顕微鏡で観察し単粒子解析し、高分解能解析への道筋を作った。ビブリオ菌の PomAB 複合体、好アルカリバチルス菌の MotPS 複合体の精製に、新しい界面活性剤を使うことで成功し、高分解能構造解析を行う準備を整えることが出来た。高速度でのべん毛回転計測を成功させ、べん毛モーターの回転ステップ速度は予想以上に大きく揺らぐことを明らかにし、固定子回転子相互作用を考える上で新たな知見を与えた。べん毛基部体の構造解析におけるサンプル選択方法の向上をすることで、7.4 Å 分解能で MS リングの構造解析に成功した。低温電子断層撮影法(cryo-ET)により多毛になったビブリオ菌極毛変異体をもちいることで多くの画像を取得可能になり、詳細なべん毛モーター構造モデルの作成を行った。これまで詳細に研究されているサルモネラ菌とビブリオ菌のモーター構造の比較することができた。

A02-2 伊藤計画班:ハイブリッド型生物モーターのイオン選択透過分子機構の解明

細菌のべん毛モーターに従来とは異なる一価カチオンで駆動するハイブリッド型モーターが発見されたことにより、この分野は新たな時代に入った。本研究の目的は、好アルカリ性 *Bacillus* 属細菌のハイブリッド型べん毛モーター固定子と好中性 *Bacillus* 属細菌の単一のイオンのみを利用するべん毛モーター固定子のイオン選択透過の違いを解明すること、更に、これまで報告例のない二価のカチオンを駆動力として利用できるべん毛を有する新規細菌の探索である。

研究期間内に、好アルカリ性 *Bacillus* 属細菌の Na^+ と K^+ で駆動するハイブリッド型べん毛固定子のイオン選択性に関与するアミノ酸残基を同定した。また、グラム陽性細菌では初めて *Bacillus alcalophilus* の MotS サブユニットの C 末端親水性領域の結晶化に成功した。この他に、好中性細菌である枯草菌と好アルカリ性細菌由来の Na^+ 駆動型固定子 MotPS の回転駆動力の発生に重要なアミノ酸残基の特定と解析および枯草菌べん毛モーター固定子におけるイオン流入経路に関与するアミノ酸残基の特定に成功した。更に、 Ca^{2+} が豊富な温泉水から分離した *Paenibacillus* sp. TCA20 株が、世界初の Mg^{2+} や Ca^{2+} といった二価のカチオンで駆動するべん毛モーターを有することを明らかにした。

A03-1 中山計画班:バクテロイデーテス細菌の滑走運動マシナリーの構造とダイナミクス

バクテロイデーテス門細菌に含まれる多くの細菌は固体表面を滑走して動く能力(滑走運動能)があるが、そのメカニズムについてはほとんどわかっていなかった。菌体表面には SprB というフィラメントタンパク質があり、SprB 欠損株では滑走運動能が失われることからこのタンパク質が滑走運動に関係することが分かっている。そこで細菌が「生きたまま」の状態では SprB などの表面タンパク質を蛍光標識し、全反射蛍光(TIRF)顕微鏡にてその挙動をリアルタイムで観察し、滑走運動メカニズムを明らかにすることを試みた。

SprB を蛍光標識した研究では SprB が菌体表面を左巻きラセン状に巡回しながら動くことを発見した。また、菌体表面タンパク質 Fjoh_0697 を蛍光標識した研究で本菌が並進運動する際には菌の後方から見ると反時計回りで回転していることがわかった。さらに、外膜のペリプラスム側には GldJ タンパク質を含むマルチレール構造があり、SprB フィラメントがこの構造と連結していることがわかった。このマルチレール構造は左巻きラセン状に存在し、SprB フィラメントがこの構造に沿って動くとともに、固体表面に付着することで菌体の

並進運動を引き起こすことを明らかにした。

A03-2 福森計画班:磁気感応運動マシナリーの構造機能相関

磁性細菌の走磁性は、磁気情報の“Input”を担当するセンサーマシナリー「マグネトソーム」と、運動装置として“Output”を担当する運動マシナリー「べん毛」という2つの超分子複合体の連動によって可能となっている。本研究の目的は、「マグネトソーム」の形成・機能発現の中心的役割を果たしているアクチン様MamK細胞骨格の機能を解明し、さらに、生細胞における「マグネトソーム」、「MamK 細胞骨格」、「べん毛」の3つの超分子複合体の動態を観察し、磁気感応の機構を明らかにすることである。

研究期間内に、高速 AFM を用いたマグネトソームおよび生細胞分子イメージングに成功し、全反射蛍光顕微鏡を用いたマグネトソームの生細胞蛍光イメージング法の開発にも成功した。特に生細胞蛍光イメージングでは、長時間かつ高時間分解能で、生きた細胞内のマグネトソームの動態を観察することが可能となり、マグネトソームに結合する MamK 細胞骨格の具体的な機能を明らかにした。一方、磁性細菌 *M. magneticum* AMB-1 運動装置であるべん毛の回転運動の可視化に成功し、前後両方の極べん毛の回転が共同して前進するための推進力を生み出すことを明らかにした。

A03-3 上田計画班:アメーバ運動を統御するアクチン構造多型マシナリー

真核細胞のアクチンフィラメントは、多様なアクチン結合タンパク質(ABP)と相互作用し、それによって規定される多様な機能を担う。われわれは、特定のABPがフィラメント中のアクチンサブユニットに結合すると、そのABPに対応した協同的な構造変化が近傍のサブユニットに伝播し、ドミノ倒しのように長距離にわたってこのABPが結合したフィラメントが形成され、アクチンフィラメントの特定の構造と機能が選択され安定化されるのではないかと考えた。本計画研究の目的は、この仮説を実験的に検証し、さらにその生理的意義を明らかにすることである。

その結果、以下の三つの主要な成果を上げることができた。(1)コフィリンはアクチンフィラメントと協同的に結合してクラスターを形成し、コフィリンクラスター内のフィラメントのらせんピッチを短縮させるが、高速 AFM 観察の結果、らせんピッチの短縮がコフィリンの結合していない領域まで伝播し、それによってさらなるコフィリン結合が誘導されコフィリンクラスターが成長することを示した。これにより、アクチンフィラメントの協同的な構造変化を介してコフィリンがアクチンフィラメントと協同的に結合することが明らかになった。(2) ATP 存在下のミオシンS1はアクチンフィラメントと過渡的にしか結合しないが、それによってアクチンフィラメントは協同的に構造変化し、コフィリンと結合できなくなることを示した。これにより、複数のABPが、アクチンフィラメントの協同的な構造変化を介して阻害しあうメカニズムが明らかになった。(3)細胞内のアクチンフィラメントも構造多型性をもつことを確認し、上記のin vitroの実験結果が生理的な意味を持つことが示唆された。

3. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況（1ページ以内）

研究推進時に問題が生じた場合には、その問題点とそれを解決するために講じた対応策等について具体的に記述してください。また、組織変更を行った場合は、変更による効果についても記述してください。

問題点 1 世界的に深刻な液化ヘリウム不足(総括班)

総括班として大阪市立大学にて技術開発と提供を行った急速凍結レプリカ電子顕微鏡法では、凍結の際に液化ヘリウムを用いてきた。しかし、2012年に世界的なヘリウム供給不足に陥ったため、回収システムのない当凍結装置には液化ヘリウムの使用が許可されなくなった。本領域では、液化ヘリウムを回収する方法と、代わりに液体窒素を用いる方法の両方を検討した。その結果、目的に応じて二つの方法を使い分け、新しく開発した工夫を行うことで、必要な画質が得られるようになった。2014年にはヘリウム不足は緩和され、より高いコストはかかるものの、2011年以前と同様に供給されるようになったため、よりフレキシビリティの高いシステムを構築することができた。現在は、大阪市立大学内のプロジェクトとして、技術の開発と供給を続けている。

問題点 2 バクテリア分泌装置, SecDF タンパク質の高分解解析(森班)

膜輸送メカニズムを高い精度で議論するために、各種反応中間体の結晶から高解像度の回折像を得る必要があった。本研究では高分解能の回折像を与える結晶を得るために、1) 様々な種類の菌由来の SecDF タンパク質を検討した。2) ジスルフィド結合(S-S 結合)を分子内に形成させることにより、タンパク質の動きを制限して十分な回折像を得ることに成功した。

問題点 3 バクテリアべん毛固定子の構造解析(本間班, 伊藤班)

膜タンパク質である固定子複合体の精製は、本新領域が発足する前から、我々を含め世界中で試みられていた。安定に多量に精製することが研究推進で最も重要である。このために、真性細菌の進化系統樹上、非常に初期の段階で分岐したと考えられている超好熱性のバクテリアである *Aquifex* 属のべん毛タンパク質を用いることで、克服しようと試みた。機能的なべん毛タンパク質をこの菌が確かに作っていることを、85°Cで約90µm/secという速い遊泳能を直接観察し、電子顕微鏡観察によって、熱に対して構造的・機能的に安定なべん毛を持つことを示し確認した。A. aeolicus の MotA/B を大腸菌 *motAB* 欠失株で発現させた時に、ナトリウム駆動型べん毛モーターとして機能することが明らかになり、タンパク質の発現を行ったところ、これまでとは異なって、大量に精製することが可能となった。この試料を用い、結晶を得ることに成功した。しかし、X線回折での解像度は構造解析には十分でないため、解像度の改善を行っている。ビブリオ菌の PomAB 複合体、好アルカリバチルス菌の MotPS 複合体の精製は、従来からよく使われていたオクチルグルコシドやドデシルマルトシドなどを使って行っていたが、近年、開発されたネオペンチルグリコール系界面活性剤を用いることで、サブユニット構造を解離することなしに精製することが可能となった。

問題点 4 アクチンフィラメントの構造多型性の実体について(上田班)

高速 AFM 観察で、アクチンフィラメントにらせんピッチの変化を伴う構造多型性があることは確立できたが、このとき、アクチンプロトマーの原子構造がどのように変化しているのか、本研究期間内には解明できなかった。これは主として、技術的な限界による。アクチンフィラメントの高分解能構造解析は、阪大・難波研を含む世界の 2, 3 の研究グループで、アクチン結合タンパク質がない場合の疑似原子構造が確立しつつあるというのが現状であり、いずれ構造多型性についても明らかになってくると期待している。

また、細胞内のアクチンフィラメントの構造多型性についても、詳細を明らかにすることはできなかった。阪大・加藤貴之博士によると、真核細胞内のアクチンフィラメントの電顕トモグラフィー観察は時期尚早ということだったので、次善の策として、分子内 FRET を組込んだアクチンを細胞に導入し、細胞内で構造多型性があることは確認した(論文準備中)ものの、この新学術領域ではそれが限界だった。

4. 審査結果の所見及び中間評価の所見等で指摘を受けた事項への対応状況（2ページ以内）

審査結果の所見及び中間評価において指摘を受けた事項があった場合には、当該コメント及びそれへの対応策等を記述してください。

< 審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況 >

< 審査結果の所見において指摘を受けた事項 >

(前略)一方で、物理・数学など理論グループや工学的なグループとの融合も重要である。本研究で基本となる運動超分子マシナリー構成タンパク質の結晶構造解析の専門家を加えてもよいのではない。また、多様な機構から普遍的な共通基盤を探索するための方法や、どのようなブレイクスルーを目指すのかを明確にすべきである。

指摘があった分野については、公募班採択にて対応した。すなわち、理論研究の高野光則教授(早稲田大)と和田浩史博士(立命館大)、タンパク質結晶構造研究の林 郁子博士(横浜市立大)、X線溶液散乱研究の新井宗仁博士(東京大)らをメンバーに加えた。また、伊藤公募班の連携である今田勝巳教授(大阪大)と密に連携をとり研究を進めた。

目指すべきブレイクスルーについては、当初計画であった領域全体会議や共催シンポジウムに加えて、メーリングリストとFacebookによる日常的な議論を行い、以下の結論を得た。従来型モータータンパク質やバクテリアペン毛モーター以外にも多数の生体運動が発生し、現在も存在している。しかし、それは無制限に出現・定着したのではなく、既知の生物については17種類くらいに帰属できる。これら17種類の力発生メカニズムの共通点は、ヌクレオチドなどの加水分解や膜横断電気化学ポテンシャルによるイオン流で生じる、局所的な電場の変化を制御し、効率よく、微小なクーロン力を利用していることである。そして単純な引力や斥力であるクーロン力から、力発生装置に少なくとも17種類の多様性を生み出している共通原理は、生体分子内、生体分子間、細胞構造などの間で起こっている力伝達過程である。また、昨今のゲノム情報の蓄積から、地球上の全ての生物の系譜が明らかになりつつある(Spang A et al. 2015 Nature, PMID: 25945739, Hug LA et al. 2016 Nature Microbiol, PMID: 27572647)。本領域は、これらの情報を基に、現存する生体運動の全てを俯瞰することを期間内の目標とした。詳細な内容は、領域メンバーの多くが執筆に参加する論文として、現在投稿準備中である。

< 中間評価の所見等で指摘を受けた事項への対応状況 >

2016年10月に出された中間評価はAであった。枠内の指摘を受けたため、さらに慎重に議論を重ねて、その後の領域の構成を決定した。

< 中間評価で指摘を受けた事項 >

(前略)計画研究はそれぞれの分野で中心的な研究を展開している研究者で構成され、共同研究を含めて着実に成果を上げている。領域代表者を中心とする研究組織による異分野連携促進のための努力も有効に機能しており、評価できる。今後はさらに領域内での連携を推進し、設定目的に合致した領域研究の推進が期待される。一方、1つの計画研究課題から計画研究組織の変更申請があったが、その妥当性については十分な検討が望まれる。

本間計画班に枠内の指摘を受けたため、下の様に対応した。

< 中間評価で指摘を受けた事項 >

(前略)一方、計画研究代表者らがめざす運動エネルギーの変換メカニズムについては未だ不明な点も多く、さらなる研究の進展を求める。

中間報告時に指摘された観点への対応を考えて、計画班の変更を申請したが認められなかった。そこで、機能解析に実績のある南野徹を分担者として研究を推進した。さらに、低温電子断層撮影法(cryo-ET)

の構造解析に実績のある米国テキサス大学の Jun Liu と共同研究することで、新しい視点での研究方向を模索した。また、当初の計画が多くを盛り込み過ぎたため、固定子と回転子タンパク質 FliG の構造機能解析に焦点をできるだけ絞り研究を進めることにした。

上田計画班に枠内の指摘を受けたため、下の様に対応した。

(前略)しかし、アクチンフィラメントの構造変化がどのような実体に基づくものであるのか不明である。細胞遊走時にアクチンフィラメントが大きく形態変化することは多くの研究者によって解析されており、かなり成熟した分野になっている。今後は、コフィリン等少数の分子に的を絞っている理由、この研究の進捗によりどのようなインパクトのある発見がもたらされるのかを明らかにし、この分野への貢献をより大きくすることを求める。これらの点もふまえて、ブレークスルーをもたらすような工夫を含め、今後の研究内容・視点の見直しを望む。

(1)アクチンフィラメントの構造変化がどのような実体に基づくものであるのか不明である。

ご指摘のとおり、アクチンフィラメントの高分解能構造解析はクライオ電顕に頼らざるを得ず、少数の研究グループにより疑似原子レベルの構造が明らかにされつつあるというのがこの分野の現状である。しかし機は熟しつつあり、アクチンフィラメントの協同的構造変化を原子レベルで理解するため、阪大・難波教授グループと共同研究を開始している。

(2)細胞遊走時にアクチンフィラメントが大きく形態変化することは多くの研究者によって解析されており、かなり成熟した分野になっている。

見当違いなご批判である。細胞内アクチンフィラメントのネットワークの形態変化(束化, 分枝, 網目構造等)は解析が進んでいるが、これに伴って、個々のフィラメントがどのように構造変化するかについては、まったく知見がない。いうまでもなく、本研究で対象としているのは、後者の構造変化である。ただ我々もこうした状況に手をこまねいていたわけではなく、中間審査後に研究分担者を追加し、分子内 FRET を組み込んだアクチンの細胞内観察を通じて、細胞内アクチンフィラメントに構造多型性があることは確立した(論文準備中)。今後の発展が楽しみである。

(3)コフィリン等少数の分子に的を絞っている理由

本研究では、コフィリンとミオシン II を主たる解析対象としたが、それは、これらが生理的に重要なアクチン結合タンパク質であることに加え、先行研究により、それらの結合がアクチンフィラメントの構造を変化させることが知られていたからである。本研究では、対象をこれら二つのアクチン結合タンパク質に絞ることによって、普遍性の高い分子機構に迫るような重要な成果を上げることができた。このように対象を絞って現象の本質に迫るというアプローチは、故木下一彦教授もコメントされている(「私の生物物理学-生物物理は How の世界」。生物物理学とは何か、共立出版、2003)ように、生物物理学の王道だと考える。

(4)どのようなインパクトのある発見がもたらされるのかを明らかにし、この分野への貢献をより大きくすること

我々は、ATP 存在下のミオシン S1 が、アクチンフィラメントの構造変化を介して、コフィリンとアクチンフィラメントの結合を in vitro で強く阻害することを明らかにした。この阻害はきわめて強力なので、細胞内でのコフィリンとミオシン II が相互排他的な局在などに大きく寄与する推測している。この推測を厳密に証明することは容易ではないが、上述の通り、細胞内アクチンフィラメントに構造多型性があることを示すことはできたので、他のアクチン結合タンパク質への展開も含めて、今後も引き続き、努力していきたい。

5. 主な研究成果（発明及び特許を含む）【研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理する】 （3 ページ以内）

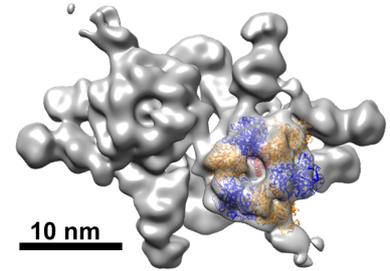
本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果（発明及び特許を含む）について、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、図表などを用いて研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理し、具体的に記述してください。なお、領域内の共同研究等による研究成果についてはその旨を記述してください。記述に当たっては、本研究課題により得られたものに厳に限ることとします。

研究項目 A01 反復マシナリー

A01-1(計画・宮田)

・マイコプラズマ滑走モーターの構造：X00 と共同研究

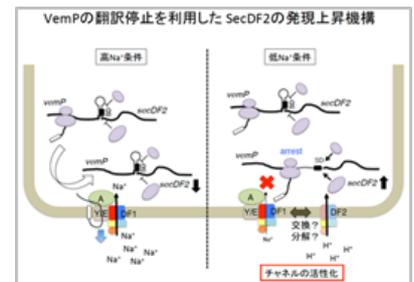
滑走装置の内部構造を電子線クライオトモグラフィーなどで観察したところ、すだれ状の構造が細胞膜を内側からコートし、膜を介して表面構造につながっていることが明らかになった。すだれ状の構造から滑走のモーターと考えられる粒子を単離して電子顕微鏡で解析したところ、ATP 合成酵素と極めて似通った六量体が、他に例のないアームでつながった二量体を形成していた(右図)。このことは、この滑走メカニズムが、ATP 合成酵素と接着タンパク質が組み合わさることで進化したことを示している。



A01-2(計画・森)

・Vibrio 属細菌 SecDF パラログの発現制御と機能分担：A02-1 と共同研究

ビブリオ属細菌が持つイオン特異性を異にする2種の SecDF パラログの存在と生理機能を明らかにし、その発現調節機構を解明した (PNAS2015)。



A01(公募・見理)

・肺炎マイコプラズマの接着タンパク質を大量生産：A01-1, A01 公募 新井と共同研究

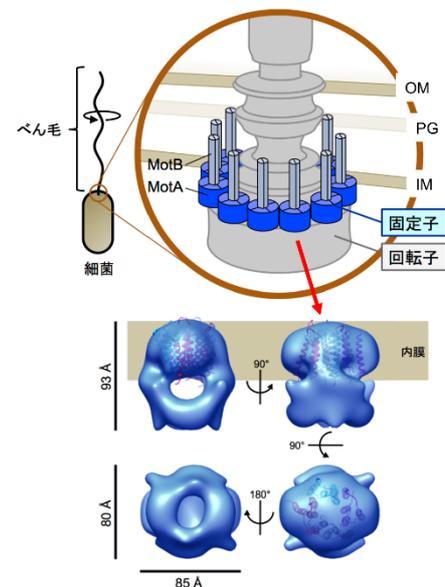
大腸菌での大量発現系を確立し、SAXS 法などによって折りたたみと活性が正常であることを示した。

研究項目 A02 回転マシナリー

A02-1(計画・本間)

・バクテリアべん毛モーターの力発生機構解明：A01 公募・西山, A03 公募・中村, 森本と共同研究

2.6 μ s の時間分解能と 1 nm の空間分解能が備わった分子モーター顕微鏡を構築し、低負荷条件下で 300 Hz で高速回転しているべん毛モーターの素過程を可視化することに成功した。ステップ時間と停止時間の計測値分布の解析から、べん毛モーターは熱揺らぎのエネルギーを利用して高速回転すること、プロトンの流れに共役して生じる固定子と回転子の動的な相互作用が回転拡散運動を一方向にバイアスするためのラチェットであることが示唆された。また構造が安定な超好熱性細菌 *Aquifex aeolicus* 由来の固定子を精製、解析することで、固定子の立体構造が、界面活性剤の皮膜をまとった“膜貫通領域”と、トゲ状の突起を持つアーチ状の“細胞質領域”という、二つの領域からできていることを明らかにした。(Sci Rep2015, 中日新聞)



A02-2(計画・伊藤 政博)

・二価カチオンで駆動する細菌べん毛モーターの発見と機能解析

これまで報告例のない Mg^{2+} や Ca^{2+} といった二価のカチオンを利用して細菌べん毛を回転させることができる細菌の探索を目的として、これらの二価カチオンを生育に要求する *Paenibacillus* sp. TCA20 株を自然界より分離した。ゲノムを決定することでべん毛モーター固定子の遺伝子を取得し、その固定子が二価カチオンを用いてべん毛モーターを回すことを枯草菌の発現系を用いて証明した (Genome Announc2014, Sci Rep2016, Extremophiles2017, 日刊工業新聞, 上毛新聞)

A02(公募・渡邊)

・正確なプロトン輸送測定

本研究では、膜電位差の定量制御機構を実装した生体膜マイクロチップを開発し、膜電位駆動型分子モーター複合体のための新しい1分子計測系の確立を行った。そして、F型ATP合成酵素を研究対象とし、膜電位駆動型分子モーター複合体の運動の基本的性質の解明を行った。(Nat Commun2014, 日刊工業新聞, 科学新聞, 日経産業新聞, 薬事日報)

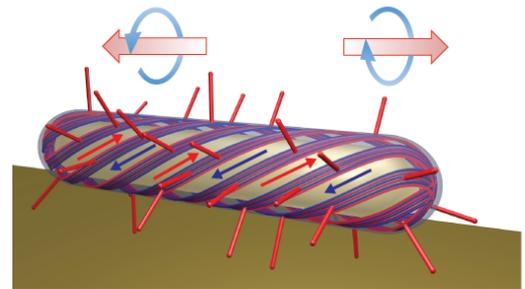
研究項目 A03 複雑系マシナリー

A03-1(計画・中山)

・バクテロイデーテス細菌の滑走運動マシナリーの構造とダイナミクス: X00, A03 公募・和田, 中根と共同研究

滑走運動細菌 *Flavobacterium johnsoniae* は菌体表面に 150 nm の長さのフィラメント状タンパク質, SprB を有する。この SprB

は、プロトン駆動力をエネルギー源として、菌体表面を極から極へ、左巻きのらせんに沿ってループ状に動き、SprB が床と接着することにより、菌体の長軸方向への並進運動が生じることを発見した。また、ベルトとあし構造を電子顕微鏡で可視化することに成功した。さらに、これらの情報をもとに、数理モデルを構築し、実際の動きを完全にシミュレートすることに成功した (PNAS2013, Physical Review Letters2013, Nat Commun リバイス中)。



A03-2(計画・福森 義宏)

MamK 細胞骨格の機能解析

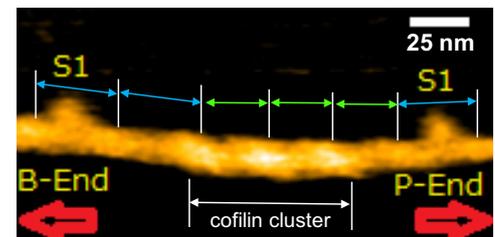
MamK は、磁性細菌の磁気オルガネラであるマグネトソームに結合する細胞骨格繊維を構成するアクチン様蛋白質である。全反射蛍光顕微鏡を用いた蛍光イメージングにより MamK の生細胞内での機能解析を行った。その結果、MamK 細胞骨格は、マグネトソームを細胞中央に直鎖状につなぎとめることで、マグネトソームが細胞内に動的に分散することを防ぎ、安定な構造をもつ効率的な磁気センサーとして機能させていることが明らかになった。さらに、高速 AFM を用いて、MamK 繊維の重合過程を in vitro で観察したところ、MamK 繊維の重合に極性があること、MamK 繊維がトレッドミル運動することを明らかにした。

A03-3(計画・上田)

アクチン結合タンパク質によるアクチンフィラメントの協同的構造変化の観察: X00 と共同研究

アクチンフィラメントは、コフィリン結合によってらせんピッチの短縮を伴う協同的構造変化を起こすが、高速 AFM 観察により、こうした構造変化がフィラメントの P 端方向に一方向的に伝播し、コフィリン

クラスターの一方向的な伸長を駆動することを発見した。また ATP 存在下のミオシン II モータードメインが、アクチンフィラメントのらせんピッチを伸ばし、コフィリン結合を強く阻害することも見出し、アクチン結合タンパク質によるアクチンフィラメントの協同的構造変化が、他のアクチン結合タンパク質の結合を調節するという概念を確立した。(eLife 2015)



A03(公募・上原)

分裂制御を司る運動マシナリー・ステムボディーの空間配置制御の解明: A03 公募・五島と共同研究

細胞質分裂制御シグナル因子の足場を提供するステムボディーが細胞中央に配列する過程およびその分子制御機構を明らかにした。(Journal of Cell Biology 2013, 中日新聞 2013)

A03(公募・森本)

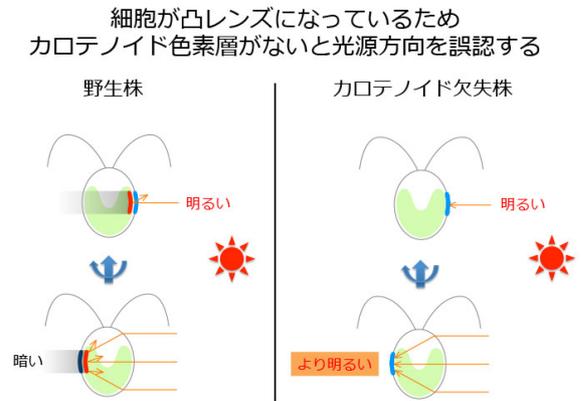
細胞性粘菌における高感度膜電位測定系の確立: A02-1, X00 と共同研究

蛍光イメージングを中心とした計測技術の確立により, 細胞性粘菌の膜電位を高時空間分機能で計測できる技術を確立した。(mBio2016)

A03(公募・若林)

クラミドモナスの光感知メカニズムを解明

クラミドモナスが走光性を示す際にどのように2本の鞭毛の打ち方を変えるかを観察した。その結果, 光を感じた瞬間に強く打つ鞭毛が株ごとに異なり, それが正の走光性と負の走光性の示しやすさを変えていることがわかった。さらに, 走光性の正負が野生株と常に逆の変異株の解析から, 細胞が凸レンズとして振る舞うため, 光受容体を裏打ちする色素層が光を反射しないと光源方向を逆だと誤認することがわかった。(PNAS2016, 科学新聞)



A03(公募・岩楯)

繊毛メタクロナルウェーブの伝播メカニズムを解明

繊毛メタクロナルウェーブの伝播が少なくともゾウリムシでは基質の弾性を介して伝播できることを示した。また, ゾウリムシ細胞をシート状にして2次元的にウェーブを観察し, 細胞頭部口部を切断するとウェーブが伝わらなくなることを示した。(Cytoskeleton 2015)

A03(公募・須河)

アクチン単分子の構造変化を計測

アクチンフィラメント内部のアクチン単分子の動的な構造変化を高感度でイメージングするために, 偏光 FRET 法の開発を行った。偏光 FRET 法の開発過程で, 1分子 FRET 計測による F1-ATPase の構造遷移の解析を行い, 研究結果の論文発表を行った。(PNAS 2016)

A03(公募・伊藤)

植物アクチン繊維の自律的配向を証明

植物細胞に模した空間的制御とアクチン繊維の束化因子と植物特異的なミオシン XI の 3 者があれば, アクチン繊維が極性をもって自律的配向し, 原形質流動装置が構築されることを明らかにした。(Plant Cell Physiology2016)

A03(公募・中根)

藍藻の運動メカニズムを解明: A03 公募・増田と共同研究

海洋性の藍藻 *Synechococcus* で見られるべん毛非依存型の遊泳運動は, きわめてユニークで類似のものは見つかっていない。本研究では, この膜表面で, 波のようなものが伝搬していることを光学顕微鏡下で明らかにした。それとは別に, *Synechocystis* などで観察される, 藍藻のもう一つの運動である線毛運動についてその制御メカニズムを明らかにした。(PNAS2017)

6. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）（5ページ以内）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果の公表の状況（主な論文、書籍、ホームページ、主催シンポジウム等の状況）について具体的に記述してください。記述に当たっては、本研究課題により得られたものに厳に限ることとします。

- 論文の場合、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に記載し、研究代表者には二重下線、研究分担者には一重下線、連携研究者には点線の下線を付し、corresponding author には左に*印を付してください。
- 別添の「(2) 発表論文」の融合研究論文として整理した論文については、冒頭に◎を付してください。
- 補助条件に定められたとおり、本研究課題に係り交付を受けて行った研究の成果であることを表示したもの（論文等の場合は謝辞に課題番号を含め記載したもの）について記載したもののについては、冒頭に▲を付してください（前項と重複する場合は、「◎▲・・・」と記載してください）。
- 一般向けのアウトリーチ活動を行った場合はその内容についても記述してください。

主な論文等一覧

研究項目 A01 反復マシナリー研究

A01-1(計画・宮田) 計 31 本(査読有 30 件、査読無 1 件)

- ▲Tanaka A, Nakane D, Mizutani M, Nishizaka T, and *Miyata M (2016) 査読有
Directed binding of gliding bacterium, *Mycoplasma mobile*, shown by detachment force and bond lifetime. **mBio** 7, e00455-16.
- ▲Kawamoto A, Matsuo L, Kato T, Yamamoto H, Namba K, and *Miyata M (2016) 査読有
Periodicity in attachment organelle revealed by electron cryotomography suggests conformational changes in gliding mechanism of *Mycoplasma pneumoniae*. **mBio** 7, e00243-16.
- ▲Nakane D, Kenri I, Matsuo L, and *Miyata M (2015) 査読有
Systematic structural analyses of attachment organelle in *Mycoplasma pneumoniae*. **PLOS Pathogens** 11, e1005299.
(日刊工業新聞, 日本経済新聞, 大阪日日新聞, HazardLab, 医療 NEWS QLifePro, 産経 WEST が報道)
- ▲Kinosita Y, Nakane D, Sugawa M, Masaike T, Mizutani K, Miyata M and *Nishizaka T (2014) 査読有
Unitary step of gliding machinery in *Mycoplasma mobile*. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA** 111, 8601-8606. (日刊工業新聞, 産経新聞が報道)

A01-2(計画・森) 計 12 本(査読有 10 件、査読無 2 件)

- ◎▲Furukawa A, Yoshikaie K, Mori T, Mori H, Morimoto YV, Sugano Y, Iwaki S, Minamino T, Sugita Y, Tanaka Y and *Tsukazaki T (2017) 査読有
Tunnel formation inferred from the I-form structures of the proton-driven protein secretion motor SecDF. **Cell Reports** 19, 895-901.
- ◎▲Ishii E, Chiba S, Hashimoto N, Kojima S, Homma M, Ito K, Akiyama Y and *Mori H (2015) 査読有
Nascent chain-monitored remodeling of the sec machinery for salinity adaptation of marine bacteria. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA** 112, E5513-E5522.
- ◎Kumazaki K, Kishimoto T, Furukawa A, Mori H, Tanaka Y, Dohmae N, Ishitani R, *Tsukazaki T and *Nureki O (2014) 査読有
Crystal structure of *Escherichia coli* YidC, a membrane protein chaperone and insertase. **Sci. Rep.** 4, 729.
- ◎Kumazaki K, Chiba S, Takemoto M, Furukawa A, Nishiyama K, Sugano Y, Mori T, Dohmae N, Hirata K, Nakada-Nakura Y, Maturana A, Tanaka Y, Mori H, Sugita Y, Arisaka F, Ito K, Ishitani R, *Tsukazaki T and *Nureki O (2014) 査読有
Structural basis for Sec-independent membrane protein insertion by YidC. **Nature** 509, 516-519.

A01 (公募・佐藤) 計 5 件(査読有 5 件、査読無 0 件)

- ▲Kodera C, Yorimitsu T and *Sato K (2014) 査読有
Sec23 homolog Nel1 is a novel GTPase-activating protein for Sar1 but does not function as a subunit of the COPII coat. **The Journal of Biological Chemistry** 289, 21423-21432.

A01 (公募・豊島) 計 8 件(査読有 7 件、査読無 1 件)

- Ichikawa M, Saito K, Yanagisawa H, Yagi T, Kamiya R, Yamaguchi S, Yajima J, Kushida Y, Nakano K, Numata O and *Toyoshima YY (2015) 査読有
Axonemal dynein light chain-1 locates at the microtubule binding domain of the γ heavy chain. **Molecular Biology of the Cell** 26, 4236-4247.
- Torisawa T, Ichikawa M, Furuta A, Saito K, Oiwa K, Kojima H, *Toyoshima YY and *Furuta K (2014) 査読有
Autoinhibition and cooperative activation mechanisms of cytoplasmic dynein. **Nature Cell Biology** 16(11), 1118-1124.

A01 (公募・新井) 計 4 件(査読有 4 件、査読無 0 件)

- ▲Arai M, Sugase K, Dyson HJ and *Wright PE (2015) 査読有
Conformational propensities of intrinsically disordered proteins influence the mechanism of binding and folding. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA** 112, 9614-19.
- ▲Haberz P, Arai M, Martinez-Yamout MA, Dyson HJ and *Wright PE (2016) 査読有
Mapping the interactions of adenoviral E1A proteins with the p160 nuclear receptor coactivator binding domain of CBP. **Protein Science** 25(12), 2256-2267.

A01 (公募・荒田) 計 5 件(査読有 5 件、査読無 0 件)

- ▲Ueda K, Kimura-Sakiyama C, Aihara T, Miki M and *Arata T (2013) 査読有
Calcium-dependent interaction sites of tropomyosin on reconstituted muscle thin filaments with bound myosin heads as studied by site-directed spin-labeling. **Biophysical Journal** 105, 2366-2373.

A01 (公募・園部) 計 1 件(査読有 1 件、査読無 0 件)

1. ▲Yamaoka N, Suetomo Y, Yoshihisa T and *Sonobe S (2016) 査読有
Motion analysis and ultrastructural study of a colonial diatom, *Bacillaria paxillifer*. **Microscopy**. 65, 211-221.

A01 (公募・神谷) 計 12 件(査読有 11 件、査読無 1 件)

1. ▲*Kamiya R and Yagi T (2014) 査読有
Functional diversity of axonemal dyneins as assessed by *in vitro* and *in vivo* motility assays of *Chlamydomonas* mutants. **Zoological Science** 31(10), 633-644.

A01 (公募・若林) 計 1 件(査読有 1 件、査読無 0 件)

1. Gomibuchi M, Uyeda TQP and *Wakabayashi T (2013) 査読有
Bulkiness or aromatic nature of tyrosine-143 of actin is important for the weak binding between F-actin and myosin-ADP-phosphate. **Biochemical and Biophysical Research Communications** 441(4), 844-848.

A01 (公募・島袋) 計 2 件 (査読有 2 件、査読無 0 件) 査読有

1. Kouzuki H, Tokikawa K, Satomi M, Negoro T, Shimabukuro K and *Fujii K (2016) 査読有
Gilvimirinus japonicus sp. nov., a cellulolytic and agarolytic marine bacterium isolated from the seacoast of Yamaguchi, Japan. **International Journal of Systematic Evolutionary Microbiology** 66(12), 5417-5423.

A01 (公募・見理) 計 6 件(査読有 5 件、査読無 1 件)

1. ▲Yamazaki T and *Kenri T (2016) 査読有
Epidemiology of *Mycoplasma pneumoniae* infections in Japan and therapeutic strategies for macrolide-resistant *M. pneumoniae*. **Frontiers in Microbiology** 7, 693.

A01 (公募・西山) 計 29 件(査読有 20 件、査読無 9 件)

1. ▲*Nishiyama M (2017) 査読有
High-pressure microscopy for tracking dynamic properties of molecular machines. **Biophysical Chemistry** S0301-4622(16), 30495-1.
2. Hayashi M, *Nishiyama M, Kazayama Y, Toyota T, Harada Y and *Takiguchi K (2016) 査読有
Reversible morphological control of tubulin-encapsulating giant liposomes by hydrostatic pressure. **Langmuir** 32(15), 3794-802. (Nature Nanotechnology が注目)

A01 (公募・稲葉) 計 9 件(査読有 7 件、査読無 2 件)

1. Shiba K and *Inaba K (2017) 査読有
Inverse relationship of Ca²⁺-dependent flagellar response between animal sperm and prasinophyte algae. **Journal of Plant Research** 130(3), 465-473.

A01 (公募・池上) 計 1 件(査読有 1 件、査読無 0 件)

1. ▲Konno A, Ikegami K, Konishi Y, Yang HJ, Abe M, Yamazaki M, Sakimura K, Yao I, Shiba K, Inaba K and *Setou M (2016) 査読有
Ttl9^{-/-} mice sperm flagella show shortening of doublet 7, reduction of doublet 5 polyglutamylation and a stall in beating. **Journal of Cell Science** 129, 2757-2766.

研究項目 A02 回転マシナリー研究

A02-1(計画・本間) 計 54 件(査読有 54 件、査読無 0 件)

1. ▲Fujii T, Kato T, Hiraoka KD, Miyata T, Minamino T, Chevance F, Hughes K and *Namba K (2017) 査読有
Identical folds used for distinct mechanical functions of the bacterial flagellar rod and hook. **Nat. Commun** 8, 14276.
2. ▲*Imada K, Minamino T, Uchida Y, Kinoshita M and Namba K (2016) 査読有
Insight into the flagella type III export revealed by the complex structure of the type III ATPase and its regulator. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA** 113(13), 3633-3638.
3. ▲Takekawa N, Terahara N, Kato T, Gohara M, Mayanagi K, Hijikata A, Onoue Y, Kojima S, Shirai T, *Namba K and *Homma M (2016) 査読有
The tetrameric MotA complex as the core of the flagellar motor stator from hyperthermophilic bacterium. **Sci. Rep.** 6, 31526. (中日新聞が報道)
4. ▲Zhu S, Takao M, Li N, Sakuma M, Nishino Y, Homma M, *Kojima S and *Imada K (2014) 査読有
Conformational change in the periplasmic region of the flagellar stator coupled with the assembly around. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA** 111(37), 13523-13528.
5. Terashima H, Li, N, Sakuma M, Koike M, Kojima S, *Homma M and *Imada K (2013) 査読有
Insight into the assembly mechanism in the supramolecular rings of the sodium-driven *Vibrio* flagellar motor from the structure of FlgT. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA** 110, 6133-6138.

A02-2(計画・伊藤 政博) 計 16 件(査読有 15 件、査読無 1 件)

1. ▲Terahara N, Noguchi Y, Nakamura S, Kamiike N, Ito M, Namba K and *Minamino T (2017) 査読有
Load-and polysaccharide- dependent activation of the Na⁺-type MotPS stator in the *Bacillus subtilis* flagellar motor. **Sci. Rep.** 7, e46081.
2. *Ito M and Takahashi Y (2017) 査読有
Nonconventional cation-coupled flagellar motors derived from the alkaliphilic *Bacillus* and *Paenibacillus* species. **Extremophiles** 21(1), 3-14.
3. Imazawa R, Takahashi Y, Aoki W, Sano M and *Ito M (2016) 査読有
A novel type bacterial flagellar motor that can use divalent cations as a coupling ion. **Sci. Rep.** 6, e19773.
4. Takahashi Y, Koyama K and *Ito M (2014) 査読有
Suppressor mutants from MotB-D24E and MotS-D30E in the flagellar stator complex of *Bacillus subtilis*. **Journal of General and Applied Microbiology** 60, 131-139.

A02 (公募・渡邊) 計 15 件(査読有 15 件、査読無 0 件)

1. ▲*Watanabe R, Soga N, Fujita D, Tabata KV, Yamauchi L, Kim SH, Asanuma D, Kamiya M, Urano Y, *Suga H and *Noji H (2014) 査読有 (日刊工業新聞, 科学新聞, 日経産業新聞, 薬事日報が報道)

Arrayed lipid bilayer chambers allow single-molecule analysis of membrane transporter activity. **Nat. Commun** 5, 4519.

2. ▲Watanabe R, and *Noji H (2014) 査読有
Timing of inorganic phosphate release modulates the catalytic activity of ATP-driven rotary motor protein. **Nat. Commun** 5, 3486. (日刊工業新聞が報道)

A02 (公募・錦見) 計 1 件(査読有 1 件、査読無 0 件)

1. Ishihara S, Nishikimi A, Umemoto E, Miyasaka M, Saegusa M, *Katagiri K (2015) 査読有
Dual functions of Rap1 are crucial for T-cell homeostasis and prevention of spontaneous colitis. **Nat. Commun.** 6, 8982.

A02 (公募・曾和) 計 3 件(査読有 2 件、査読無 1 件)

1. ◎▲Yamamoto K, Tamai R, Yamazaki M, Inaba T, Sowa Y and *Kawagishi I (2016) 査読有
Substrate-dependent dynamics of the multidrug efflux transporter AcrB of *Escherichia coli*. **Sci. Rep.** 6, 21909. (日刊工業新聞, 科学新聞が報道)

研究項目 A03 複雑系マシナリー研究

A03-1(計画・中山) 計 21 件(査読有 21 件、査読無 0 件)

1. ▲Xu Q, Shoji M, Shibata S, Naito M, Sato K, Elsiger MA, Grant JC, Axelrod HL, Chiu HJ, Farr CL, Jaroszewski L, Knuth MW, Deacon AM, Godzik A, Lesley SA, Curtis MA *Nakayama K and *Wilson IA (2016) 査読有
A distinct type of pilus from the human microbiome. **Cell** 165(3), 690-703. (長崎新聞, 科学新聞が報道)
2. ▲Gorasia DG, Veith PD, Hanssen EG, Glew MD, Sato K, Yukitake H, Nakayama K and *Reynolds EC (2016) 査読有
Structural insights into the PorK and PorN components of the *Porphyromonas gingivalis* type IX secretion system. **PLOS Pathogens** 12(8), e1005820.
3. Kadowaki T, Yukitake H, Naito M, Sato K, Kikuchi Y, Kondo Y, Shoji M and *Nakayama K (2016) 査読有
A two-component system regulates gene expression of the type IX secretion component proteins via an ECF sigma factor. **Sci. Rep.** 6, 23288.
4. Nakane D, Sato K, Wada H, *McBride MJ and *Nakayama K (2013) 査読有
Helical flow of surface protein required for bacterial gliding motility. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA** 110(27), 11145-11150.

A03-2(計画・福森) 計 8 件(査読有 8 件、査読無 0 件)

1. ▲Nguyen HV, Suzuki E, Oestreicher A, Minamide H, Endoh H, Fukumori Y and *Taoka A (2016) 査読有
A protein-protein interaction in magnetosomes: TPR protein MamA interacts with an Mms6 protein. **Biochemistry and Biophysics Reports** 7, 39-44.
2. ▲Oestreicher Z, Taoka A and *Fukumori Y (2015) 査読有
A comparison of the surface nanostructure from two different types of gram-negative cells: *Escherichia coli* and *Rhodobacter sphaeroides*. **Micron** 72, 8-14.
3. ▲Taoka A, Eguchi Y, Mise S, Oestreicher Z, Uno F and *Fukumori Y (2014) 査読有
A magnetosome-associated cytochrome MamP is critical for magnetite crystal growth during the exponential growth phase. **FEMS Microbiology Letters** 358, 21-29.
4. ▲Taoka A, Kondo J, Oestreicher Z and *Fukumori Y (2014) 査読有
Characterization of uncultured giant rod-shaped magnetotactic *Gammaproteobacteria* from a fresh water pond in Kanazawa, Japan. **Microbiology** 160, 2226-2234.

A03-3(計画・上田) 計 20 件(査読有 20 件、査読無 0 件)

1. Ngo KX, Umeki N, Kijima ST, Kodera N, Ueno H, Furutani-Umezu N, Nakajima J, Noguchi TQP, Nagasaki A, *Tokuraku K and *Uyeda TQP (2016) 査読有
Allosteric regulation by cooperative conformational changes of actin filaments drives mutually exclusive binding with cofilin and myosin. **Sci Rep** 6, 35449.
2. *Umeki N, Hirose K and Uyeda TQP (2015) 査読有
Cofilin-induced cooperative conformational changes of actin subunits revealed using cofilin-actin fusion protein. **Sci. Rep.** 6, 20406.
3. Ngo KX, *Kodera N, Katayama E, Ando T and *Uyeda TQP (2015) 査読有
Cofilin-induced unidirectional cooperative conformational changes in actin filaments revealed by high-speed atomic force microscopy. **eLife**. 2015 4, e04806.
4. *Noguchi TQP, Komori T, Umeki N, Demizu N, Ito K, Iwane AH, Tokuraku K, Yanagida T and Uyeda TQP (2012) 査読有
G146V mutation at the hinge region of actin reveals a myosin class-specific requirement of actin conformations for motility. **Journal of Biological Chemistry** 287(29), 24339-24345.

A03 (公募・中村) 計 6 件(査読有 6 件、査読無 0 件)

1. ▲Takabe K, Tahara H, Md. Islam S, Affroze S, Kudo S, and *Nakamura S (2017) 査読有
Viscosity-dependent variations in the cell shape and swimming manner of *Leptospira*. **Microbiology** 163, 153-160.
2. ▲*Nakamura S, Leshansky A, Magariyama Y, Namba K and Kudo S (2014) 査読有
Direct measurement of helical cell motion of the spirochete *Leptospira*. **Biophysical Journal** 106, 47-54.

A03 (公募・若林) 計 8 件(査読有 7 件、査読無 1 件)

1. ◎▲Ueki N, Ide T, Mochiji S, Kobayashi Y, Tokutsu R, Ohnishi N, Yamaguchi K, Shigenobu S, Tanaka K, Minagawa J, Hisabori T, Hirono M and *Wakabayashi K (2016) 査読有
Eyespot-dependent determination of the phototactic sign in *Chlamydomonas reinhardtii*. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA** 113, 5299-304. (科学新聞が報道)
2. ▲Owa M, Furuta A, Usukura J, Arisaka F, King SM, Witman GB, Kamiya R and *Wakabayashi K (2014) 査読有
Cooperative binding of the outer arm docking complex underlies the regular arrangement of outer arm dynein in the axoneme. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA** 111, 9461-6. (科学新聞が報道)

A03 (公募・垣内) 計 10 件(査読有 10 件、査読無 0 件)

1. *[Kaito C](#), Saito Y, Ikuro M, Omae Y, Mao H, Nagano G, Fujiyuki T, Numata S, Han X, Obata K, Hasegawa S, Yamaguchi H, Inokuchi K, Ito T, Hiramatsu K and [Sekimizu K](#) (2013) 査読有
Mobile genetic element SCCmec-encoded *psm-mec* RNA suppresses translation of *agrA* and attenuates MRSA virulence. **PLOS Pathogens** 9(4), e1003269.
- A03 (公募・増田)** 計 2 件(査読有 2 件、査読無 0 件)
1. ▲[Sugimoto Y](#), Nakamura H, Ren S, Hori K and *[Masuda S](#) (2017) 査読有
Genetics of the blue light-dependent signal cascade that controls phototaxis in the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC6803. **Plant and Cell Physiology** 58, 458-465.
- A03 (公募・上原)** 計 2 件(査読有 2 件、査読無 0 件)
1. ▲[Uehara R](#), Kamasaki T, Hiruma S, Poser I, Yoda K, Yajima J Gerlich DW and [Goshima G](#) (2016) 査読有
Augmin shapes the anaphase spindle for efficient cytokinetic furrow ingression and abscission. **Molecular Biology of the Cell** 27, 812-827.
- A03 (公募・岩橋)** 計 6 件(査読有 6 件、査読無 0 件)
1. ▲[Nakata T](#), Okimura C, Mizuno T and *[Iwadate Y](#) (2016) 査読有
The role of stress fibers in the shape determination mechanism of fish keratocytes. **Biophysical Journal** 110, 481-492.
2. ▲[Naremsatsu N](#), Quek R, *[Chiam KH](#) and *[Iwadate Y](#) (2015) 査読有
Ciliary metachronal wave propagation on the compliant surface of *Paramecium* cells. **Cytoskeleton** 72, 633-646.
- A03 (公募・武谷)** 計 3 件(査読有 1 件、査読無 2 件)
1. ▲[Fujimoto N](#), Kan-O M, Ushijima T, Kage Y, Tominaga R, *[Sumimoto H](#) and *[Takeya R](#) (2016) 査読有
Transgenic expression of the formin protein Fhod3 selectively in the embryonic heart: role of actin-binding activity of Fhod3 and its sarcomeric localization during myofibrillogenesis. **PLOS One** 11, e0148472.
- A03 (公募・片山)** 計 2 件(査読有 2 件、査読無 0 件)
1. [Ozaki S](#), [Matsuda Y](#), [Keyamura K](#), [Kawakami H](#), [Noguchi Y](#), [Kasho K](#), [Nagata K](#), [Masuda T](#), [Sakiyama Y](#) and *[Katayama T](#) (2013) 査読有
A replicase clamp-binding protein with a dynamin motif promotes colocalization of the nascent DNA strands and equipartitioning of chromosomes in *Escherichia coli*. **Cell Reports**. 4(5), 985-995.
- A03 (公募・小椋)** 計 1 件(査読有 1 件、査読無 0 件)
1. ◎[Noi K](#), [Yamamoto D](#), [Nishikori S](#), [Arita-Morioka K](#), [Kato T](#), [Ando T](#) and *[Ogura T](#) (2013) 査読有
High-speed atomic force microscopic observation of ATP-dependent rotation of the AAA+ chaperone p97. **Structure** 21, 1992-2002.
- A03 (公募・春田)** 計 2 件(査読有 2 件、査読無 0 件)
1. ▲[Fukushima S](#), [Morohoshi S](#), [Hanada S](#), [Matsuura K](#) and *[Haruta S](#) (2016) 査読有
Gliding motility driven by individual cell-surface movements in a multicellular filamentous bacterium *Chloroflexus aggregans*. **FEMS Microbiology Letters** 363, fnw056.
- A03 (公募・林)** 計 1 件(査読有 1 件、査読無 0 件)
1. [Maki T](#), [Grimaldi AD](#), [Fuchigami S](#), [Kaverina I](#) and *[Hayashi I](#) (2015) 査読有
CLASP2 has two distinct TOG domains that contribute differently to microtubule dynamics. **Journal of Molecular Biology** 427, 2379-2395.
- A03 (公募・馬淵)** 計 4 件(査読有 4 件、査読無 0 件)
1. [Mishra M](#), [Kashiwazaki J](#), [Takagi T](#), [Srinivasan R](#), [Huang Y](#), [Balasubramanian MK](#) and *[Mabuchi I](#) (2013) 査読有
In vitro contraction of cytokinetic ring depends on myosin II but not on actin dynamics. **Nature Cell Biology** 15, 853-859. (読売新聞が報道)
- A03 (公募・高野)** 計 4 件(査読有 4 件、査読無 0 件)
1. ▲[Ohnuki J](#), [Sato T](#) and *[M.Takano](#) (2016) 査読有
Piezoelectric allostery of protein. **Physical Review E**. 94, 012406.
- A03 (公募・和田)** 計 3 件(査読有 3 件、査読無 0 件)
1. ▲*[Wada H](#), [Nakane D](#) and [Chen HY](#) (2013) 査読有
Bidirectional bacterial gliding motility powered by the collective transport of cell surface proteins. **Physical Review Letters** 111, 248102.
- A03 (公募・塩見)** 計 4 件(査読有 2 件、査読無 2 件)
1. ▲[Kawazura T](#), [Matsumoto K](#), [Kojima K](#), [Kato F](#), [Kanai T](#), [Niki H](#) and *[Shiomi D](#) (2017) 査読有
Exclusion of assembled MreB by anionic phospholipids at cell poles confers cell polarity for bidirectional growth. **Molecular Microbiology** 104(3), 472-486.
2. ▲[Shiomi D](#) and *[Niki H](#) (2013) 査読有
A mutation in the promoter region of *zipA*, a component of the divisome, suppresses the shape defect of RodZ-deficient cells. **Microbiology Open** 2(5), 798-810.
- A03 (公募・加藤)** 計 10 件(査読有 10 件、査読無 0 件)
1. ◎▲*[Kato K](#), [Murata Y](#), [Horiuchi N](#), [Inomata A](#), [Terkawi MA](#), [Ishiwa A](#), [Ogawa Y](#), [Fukumoto S](#), [Matsuhisa F](#) and [Koyama K](#) (2016) 査読有
Dextran sulfate inhibits acute *Toxoplasma gondii* infection in pigs. **Parasit and Vectors** 9, 134.
- A03 (公募・伊藤 光二)** 計 2 件(査読有 2 件、査読無 0 件)
1. ▲[Haraguchi T](#), [Tominaga M](#), [Nakano A](#), [Yamamoto K](#) and *[Ito K](#) (2016) 査読有
Myosin XI-I is Mechanically and Enzymatically Unique Among Class XI Myosins in *Arabidopsis* **Plant and Cell Physiology** 57(8), 1732-1743.
- A03 (公募・須河)** 計 1 件(査読有 1 件、査読無 0 件)
1. ▲*[Sugawa M](#), [Okazaki K](#), [Kobayashi M](#), [Matsui T](#), [Hummer G](#), [Masaie T](#) and *[Nishizaka T](#) (2016) 査読有
F₁-ATPase conformational cycle from simultaneous single-molecule FRET and rotation measurements. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA** 113(21), E2916-24.

A03 (公募・田代) 計9件(査読有9件、査読無0件)

1. ▲Tashiro Y, Monson RE, Ramsay JP and *Salmond GP (2016) 査読有
Molecular genetic and physical analysis of gas vesicles in buoyant enterobacteria. **Environmental Microbiology** 18(4), 1264-1276.

A03 (公募・五島) 計2件(査読有2件、査読無0件)

1. ▲Moriwaki T and *Goshima G (2016) 査読有
Five factors can reconstitute all three phases of microtubule polymerization dynamics. **Journal of Cell Biology** 215(3), 357-368. (中日新聞が報道)

A03 (公募・進藤) 計3件(査読有3件、査読無0件)

1. Torii H, Yoshida A, Katsuno T, Nakagawa T, Ito J, Omori K, Kinoshita M and *Yamamoto N (2016) 査読有
Septin7 regulates inner ear formation at an early developmental stage. **Developmental Biology** 419, 217-228.

A03 (公募・甲) 計7件(査読有7件、査読無0件)

1. ▲Tanaka Y, Ono N, Shima T, Tanaka G, Katoh Y, Nakayama K, Takatsu H and *Shin HW (2016) 査読有
The phospholipid flippase ATP9A is required for recycling pathway from endosomes to the plasma membrane. **Molecular Biology of the Cell** 27, 3883-3893. (Selected for Highlights)

A03 (公募・杉村) 計2件(査読有2件、査読無0件)

1. Sugimura K, Lenne PF and *Graner F (2016) 査読有
Measuring forces and stresses in situ in living tissues. **Development** 143, 186-196.

A03 (公募・久堀) 計4件(査読有4件、査読無0件)

1. ▲*Kubori T (2016) 査読有
Life with bacterial secretion systems. **PLOS Pathogens** 12(8), e1005562.

A03 (公募・安永) 計4件(査読有4件、査読無0件)

1. ◎▲Aramaki S, Mayanagi K, Jin M, Aoyama K and *Yasunaga T (2016) 査読有
Filopodia formation by cross-linking of F-actin with Fascin in two different binding manners. **Cytoskeleton** 73(7), 365-374.

A03 (公募・八木) 計2件(査読有2件、査読無0件)

1. *Kamimura S, Fujita Y, Wada Y, Yagi T and Iwamoto H (2016) 査読有
X-ray fiber diffraction analysis shows dynamic changes in axial tubulin repeats in native microtubules depending on paclitaxel content, temperature and GTP-hydrolysis. **Cytoskeleton (Hoboken)** 73(3), 131-144.

A03 (公募・中根) 計5件(査読有5件、査読無0件)

1. ▲Nakane D and *Nishizaka T (2017) 査読有
Asymmetric distribution of type IV pili triggered by directional light in unicellular cyanobacteria. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA** in press.
2. ▲Kinosita Y, *Uchida N, Nakane D and *Nishizaka T (2016) 査読有
Direct observation of rotation and steps of the archaeellum in the swimming halophilic archaeon *Halobacterium salinarum*. **Nature Microbiology** 1, 16148. (科学新聞, 日刊工業新聞, ネーチャー・ジャパンサイトが報道)

A03 (公募・森本) 計10件(査読有10件、査読無0件)

1. ▲Morimoto YV, Kami-ike N, Miyata T, Kawamoto A, Kato T, *Namba K and *Minamino T (2016) 査読有
High-resolution pH imaging of living bacterial cells to detect local pH differences. **mBio** 7(6), e01911-16.
2. ▲*Minamino T, Morimoto YV, Hara N, Aldridge PD and *Namba K (2016) 査読有
The bacterial flagellar type III export gate complex is a dual fuel engine that can use both H⁺ and Na⁺ for flagellar protein export. **PLOS Pathogens** 12, e1005495 査読有

ホームページ, 公開発表

領域ホームページ: 領域を俯瞰、情報の共有、発信を目指して運営した。

<http://bunshi5.bio.nagoya-u.ac.jp/~mycmobile/index.php>

研究成果は、20回の共催シンポジウムと20回協賛シンポジウムなどで公開した。

一般向けアウトリーチ活動

(1) 一般市民に生体運動研究を親しんでもらうことを目的として、当領域に関連のあるビデオをYouTubeで公開し、オンラインビデオライブラリーを作成、公開した。英語版も公開した。平成28年7月15日現在で、675件のビデオを登録してきた。平成28年6月23日までに、世界157ヶ国から29,127回、閲覧された。専用のスマートフォンアプリ、iPhone用とAndroid用それぞれを開発、公開した。平成28年7月15日までに263回のダウンロードがなされた。

<http://bunshi5.bio.nagoya-u.ac.jp/~mycmobile/video/>

(2) 研究内容を一般向けに書き直した、スマートフォンアプリである「生体運動マシナリー図鑑」と次バージョンの「動く生き物大事典 ver 1.2」を開発、公開した。平成28年6月24日までに計3924回ダウンロードされた。さらに記載容量に制限が少なく、研究の進展に伴う迅速な更新が可能な、「動く生き物、大事典インターネット版」を開発、公開した。

(3) 汎用3Dプリンターの生物学的利用法開発、急速凍結レプリカ電子顕微鏡法の活動内容、研究内容に関する議論のそれぞれをFacebookで公開した。

<https://www.facebook.com/motility.machinery>

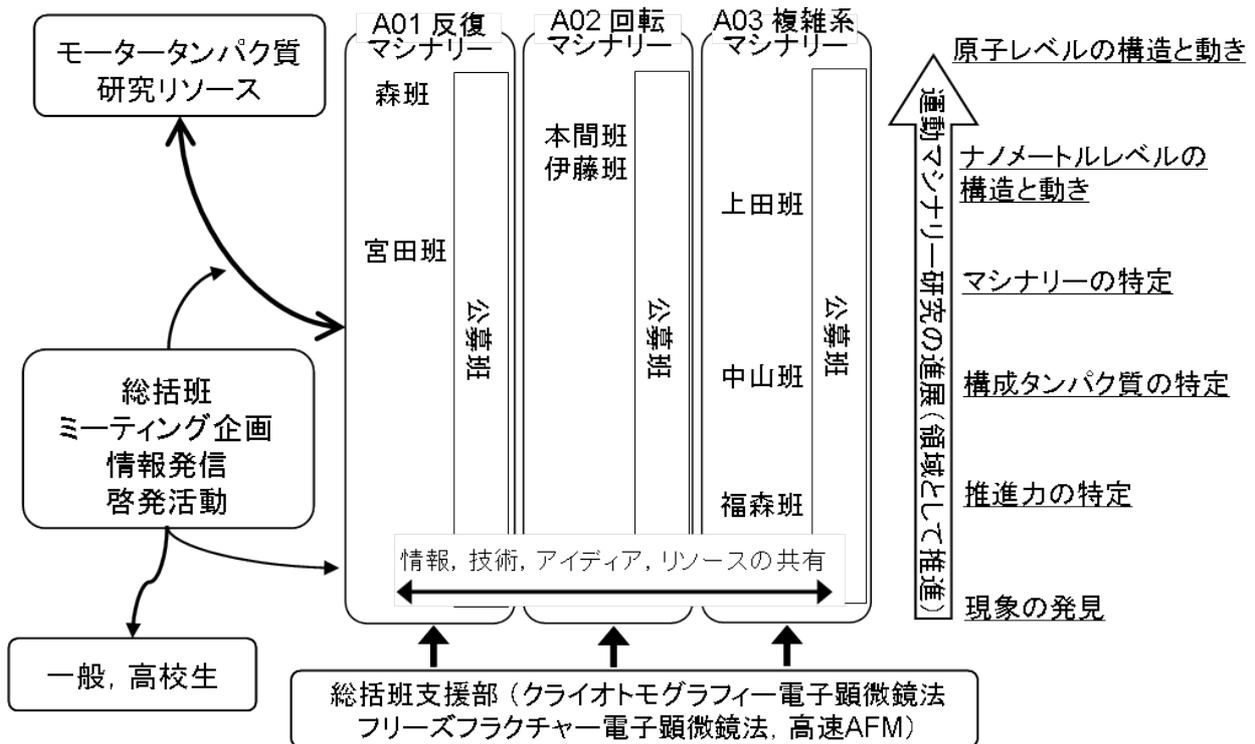
<https://www.facebook.com/freeze.fracture>

<https://www.facebook.com/mycmobile>



7. 研究組織（公募研究を含む。）と各研究項目の連携状況（2ページ以内）

領域内の計画研究及び公募研究を含んだ研究組織と領域において設定している各研究項目との関係を記述し、総括班研究課題の活動状況も含め、どのように研究組織間の連携や計画研究と公募研究の調和を図ってきたか、組織図や図表などを用いて具体的かつ明確に記述してください。



領域概念図

提案時の領域概念図にのっとり、領域の主題である、“これまであまり研究がなされてこなかった運動マシンリー”というテーマについて、その方法論、各論、多様性、普遍性、全体像を議論するための場を総括班から提供した。結果として、全 383 編の発表論文の中で、46 編が領域内共同研究として発表された。以下にその詳細を紹介する。

【総括班組織】

宮田 真人(大阪市立大学): 領域代表, 急速凍結レプリカ電子顕微鏡法, 質量分析, 3D プリンターの生物学的利用

本間 道夫(名古屋大学): 事務, 電子線クライオトモグラフィー

加藤 貴之(大阪大学): 電子線クライオトモグラフィー

伊藤 政博(東洋大学): オンラインビデオライブラリー

森 博幸(京都大学): 学術集会報告書作成

中山 浩次(長崎大学): 携帯端末アプリケーション開発

福森 義宏(金沢大学): 名簿および紹介冊子作成 高速原子間力顕微鏡

上田 太郎(早稲田大学): 領域会議プログラム

小嶋 誠司(名古屋大学): 事務, 会計

片山 栄作(大阪市立大学): 急速凍結レプリカ電子顕微鏡法

古寺 哲幸(金沢大学): 高速原子間力顕微鏡(高速 AFM)

田岡 東(金沢大学): 高速原子間力顕微鏡(高速 AFM)

川上 勝(山形大学): 3D プリンターの生物学的利用

神山 勉(名古屋大学): 構造解析協力

西坂 崇之(学習院大学): 光学顕微鏡技術支援

石渡 信一(早稲田大学)生物物理学:評価委員, 領域アドバイザー
北 潔 (長崎大学)生化学/寄生虫学:評価委員, 領域アドバイザー
笹川 千尋(千葉大学)細胞微生物学:評価委員, 領域アドバイザー
難波 啓一(大阪大学)構造生物学:評価委員, 領域アドバイザー

【総括班活動】

1) 議論

個々の研究テーマと分野の将来について2011年から現在まで途切れなく議論を続けてきた。2012-2016年度の期間中に、3日間のクローズな領域会議を5回行い、また、60年の歴史を持つ、生体運動合同会議と合同で行う3日間のオープンな領域会議を5回行った。既存の学会と研究会を利用して、13回のシンポジウムをオーガナイズ、共催した。さらに、それらの機会を活用する形で、生体運動研究の鍵を握る海外の研究者18名を招聘して議論を深めた。中でも、Joshua Shaevitz教授(プリンストン大, 米国)ら7名は、学会前後に約10日間、領域研究班の数か所を訪問して議論、見学、さらには実験を行った。Howard Berg教授については招へい時にインタビューを行い、生物物理学会の機関誌と領域HPに記事として発表した(生物物理 2014, 54, 226-229)。領域関係者が誰でも参加できる形でメーリングリストとfacebookによる議論を日常的に行い、そこでの議論内容は、60,700文字にも及んでいる。領域終了後には、ミーティングの報告記とfacebookでの議論をまとめた単行本の出版を予定している。また、領域の成果(各論)と議論(俯瞰)をまとめた総説それぞれを発表すべく準備を進めている。会議記録を以下に示す。

単独全体会議

第0回宮田新学術領域全体班会議(名古屋)2012年9月24日
第1回宮田新学術領域全体班会議(名古屋)2013年6月28-30日
第2回宮田新学術領域全体班会議(札幌)2014年6月16-18日
第3回宮田新学術領域全体班会議(金沢)2015年6月10-12日
第4回宮田新学術領域全体班会議(長崎)2016年6月8-10日

共催全体会議

2013年生体運動研究合同班会議(東広島)2013年1月12-14日
2014年生体運動研究合同班会議(千葉)2014年1月10-12日
2015年生体運動研究合同班会議(東京)2015年1月7-9日
2016年生体運動研究合同班会議(京都)2016年1月8-10日
2017年生体運動研究合同班会議(神戸)2017年1月6-8日
その他、共催シンポジウム20回、協賛シンポジウム20回、総括班会議:5回、ネット会議:43回

2) 技術の開発と提供

運動マシナリー分野の研究に必須であるが、費用のかかる質量分析を、総括班として提供した。また、運動マシナリー分野の研究で最も重要なサブミクロンオーダーでの可視化技術、急速凍結レプリカ電子顕微鏡法、クライオ電子顕微鏡法、高速原子間力顕微鏡法を提供した。それぞれ28, 7, 13のグループが、30, 12, 20のテーマについて解析を行った。(項目8を参照のこと)。大阪市立大学にパーソナルユースの3Dプリンターを設置し、運動マシナリーや細胞の立体模型の開発と供給を行った。領域内の38グループに計192の模型を提供した。3Dプリンターについて開発した技術は、現在特許出願中である(生物物理 2017, 印刷中)。これらの事業により、総括班(大阪市立大学)を中心とした頻繁な人的交流が促進された。

3) アウトリーチ

領域全体で、ビデオライブラリーと図鑑のスマートフォン向けアプリを開発した。これらの事業により、領域内部における交流はさらに活発化した。

8. 研究経費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む。）（1 ページ以内）

領域研究を行う上で設備等（研究領域内で共有する設備・装置の購入・開発・運用・実験資料・資材の提供など）の活用状況や研究費の効果的使用について記述してください（総括班における設備共用等への取組の状況を含む。）。

運動超分子マシナリーの研究においてその有用性が明白で、時として決定的な意味を持つ3つの方法、すなわち、(i) 電子線クライオトモグラフィー、(ii) 急速凍結レプリカ電子顕微鏡法、(iii) 高速原子間力顕微鏡（高速 AFM）について、総括班活動として技術開発・提供を行ってきた。これら可視化技術とは別に、(iv) タンパク質の質量分析による解析を全班員に無償で提供してきた。また、本間班では(v) 超高速ナノ計測装置を開発し、領域内で共同利用した。(iii)については総括班からの支出がないため、それ以外の実績を報告する。

(i) 総括班、加藤貴之(大阪大)、川本晃大(大阪大、博士研究員)、本間道夫(名古屋大)を中心に、大阪大学生命機能研究科の FEI 社製 Titan Krios にて技術の開発と提供

総括班では周辺機器の導入(17500 千円)と博士研究員および研究補佐員の雇用を行った(総額 21000 千円)。これまでに 4 研究グループの研究者と、試料調製及び電子線クライオトモグラフィー解析を行った。技術開発の結果、電子線クライオトモグラフィーは試料に対する制限が少ない反面、一つ一つのトモグラムに関しては分解能が低いが、複数のデータから同じ分子を切り出し、平均化することで高分解能の構造解析が可能となることが明らかになった。2017 年 6 月までに運動メカニズム解明に決定的な 4 編の論文が発表されており、この数字は今後の短期間で大きく変化すると期待される。

(ii) 総括班の宮田真人(大阪市大)、片山栄作特任教授(大阪市大)を中心に急速凍結レプリカ電子顕微鏡法の技術開発と提供

2012 年度末に急速凍結レプリカ法による電子顕微鏡観察を行うための装置一式を共用の機器として導入した(総額 19300 千円)。また、2010 年に東京大学を退職した片山栄作 元教授と研究補佐員を 2012 年より雇用し(総額 11400 千円)、技術の継承を行った。2013 年度からは、本法の発案・開発者で、ワシントン大学および京都大学教授の John Heuser 教授らとも密な連携を取りながら進めた。技術開発・提供にかかわる費用は全て総括班が負担した。さらに、共通点の多いロータリーシャドーイング電子顕微鏡観察法の技術開発・提供も行っている。2017 年 6 月現在までに、41 人の研究者が大阪市立大学を訪れて延べ 190 日の実験を行い、その活動状況はリアルタイムに facebook にて公開した。2017 年 6 月現在ではまだ 1 編の論文のみ発表されているが、この数字は今後の短期間で大きく変化すると期待される。また、当事業は 2017 年 4 月から、その一部が大阪市立大学に引き継がれた。

<https://www.facebook.com/freeze.fracture>

(iv) 総括班の宮田真人(大阪市大)を中心に、タンパク質の質量分析による解析を提供

2012 年度末に Bruker Daltonics autoflex speed MS/MS を総括班の機器として大阪市立大学に導入し(33000 千円)、オペレーターを雇用し(総額 3000 千円)、領域内に無償での技術提供を行った。2016 年 10 月までに、のべ 182 グループからの 2737 試料を無償で解析した。その中には、受託会社などでは対応できない特殊な解析も多数含まれていた。2017 年 4 月から、その一部が大阪市立大学の事業として引き継がれた。

(v) 高速・高感度の兼備撮影装置を提供

最速フレームレートが 1.4 MHz (~0.7 μ s 間隔)で撮影可能な超高速・高感度 CMOS カメラ(Phantom V711)を導入することで、1 nm 以下の精度で金粒子の位置決定できる光学システムの開発に成功した。直径 100 nm の金粒子で標識したべん毛モーターが最高回転数 300 Hz で回転している動きを正確にとらえることに成功した。領域研究者 5 名により開発、利用された。

・研究費の使用状況

(1) 主要な物品明細 (計画研究において購入した主要な物品 (設備・備品等。実績報告書の「主要な物品明細書」欄に記載したもの。) について、金額の大きい順に、枠内に収まる範囲で記載してください。)

年度	品名	仕様・性能等	数量	単価 (円)	金額 (円)	設置(使用)研究機関
24	質量分析装置	ブルカー-autoflex speed TOF/TOF	1	32,999,400	32,999,400	大阪市立大学
	凍結切断レプリカ作成装置	日本電子(株) EM-19501 JFDV	1	14,332,500	14,332,500	大阪市立大学
	生体試料急速凍結装置	(株)カーク Slammer	1	3,780,000	3,780,000	大阪市立大学
	透過型電子顕微鏡用 CCD カメラシステム	Gatan C200D 型	1	10,442,250	10,442,250	名古屋大学
	スペクトロメーター	メルクミリポア DDHW00010-WW	1	2,310,000	2,310,000	名古屋大学
	電子顕微鏡総合整備 (部品を含む)	(株)日立ハイテクフィールディング H7000 型顕微鏡	1	1,863,750	1,863,750	大阪市立大学
	全反射蛍光顕微鏡	オリンパス(株) IX83-P2ZF-ZDC-TIR	1	7,066,237	7,066,237	大阪市立大学
	マイクロチップ DNA 分析装置	(株)島津製作所 MEC-202	1	3,147,900	3,147,900	大阪市立大学
	恒温振とう培養機	タイテック(株) GR-200	1	3,655,680	3,655,680	大阪市立大学
	タンパク質分取装置	GE ヘルスケア AKTA pure M1	1	6,360,000	6,360,000	大阪市立大学
	高速冷却遠心機	日立工機(株) GR20DIII	1	1,548,750	1,548,750	大阪市立大学
	全反射蛍光顕微鏡	倒立型顕微鏡 IX83 制御用解析装置を含む	1	11,999,400	11,999,400	長崎大学
	EMCC カメラ	アンドール	1	4,445,962	4,445,962	長崎大学
	MVDOC エントリーパッケージ	IxonX3-Du897E-CSO-#BV				
	高速高感度デジタルカメラ	浜松ホトニクス ORCA FLASH 4.0	1	3,372,600	3,372,600	産総研
	超微量分光光度計	Thermo Scientific NanoDrop 2000C	1	1,680,000	1,680,000	室蘭大学
	パワースキャン HT 一式	DS ファーマバイオメディカル(株)	1	2,816,471	2,816,471	名古屋大学
	デジタル CCD カメラ	アンドール 512*512 DU-897U-#BV-C	1	4,173,750	4,173,750	名古屋大学
	デジタルハイスピードカメラ一式	(株)ノビテック NB-V711-32GB-MMF	1	9,996,000	9,996,000	名古屋大学
	全反射エバネッセント顕微鏡 電動TIRF光刺激セット	(株)ニコン Eclipse TI-E 電動 TIRF 光刺激セット	1	19,950,000	19,950,000	金沢大学
	超低温フリーザー	パナソニックヘルスケア MDF-U33V	1	1,344,000	1,344,000	京都大学
	画像解析装置一式	GE ヘルスケア LAS4000mini	1	4,063,500	4,063,500	京都大学
	顕微鏡用蛍光装置一式	オリンパス BX53 用	1	1,218,577	1,218,577	京都大学
	イメージングシステム一式	アンドールテクノロジー Zyla sCMOS カメラ	1	2,274,300	2,274,300	京都大学
	C1000 サーマルサイクラー	バイオラッド 185-1148JA	1	1,274,400	1,274,400	東洋大学
	マイクロプレート分光光度計	BioTek EON	1	1,955,100	1,955,100	東洋大学
	デジタルカメラ	Lica DFC310FX	1	1,491,000	1,491,000	東洋大学
25	デジタルカメラセット	浜松ホトニクス ORCA-Flash4.0	1	2,294,250	2,294,250	名古屋大学
	長時間ハイスピードカメラ	(株)デジモ HDTV ラボレコーダー	1	2,373,000	2,373,000	大阪市立大学
	1064nm レーザ光源	シグマ光機(株) FLS-1064-200F	1	1,522,500	1,522,500	大阪市立大学
26	フラクションコレクター	GE ヘルスケア F9-C	1	1,080,000	1,080,000	大阪市立大学
	フリーズ超低温槽	日本フリーザー CLN-52UD2	1	1,490,400	1,490,400	名古屋大学
	倒立型リサーチ顕微鏡	オリンパス IX73	1	1,438,560	1,438,560	名古屋大学
	高圧バッチ式細胞破碎機	サーモフィッシャー FRENCH-FRESS G-M	1	3,196,800	3,196,800	東洋大学
27	なし					
28	NGC Quest10 クロマトグラフィー(合算)	米国バイオラッドラボラトリーズ 7880001	1	4,460,400	4,460,400	名古屋大学
	超純粋装置一式	Milli-Q Integral MT3 S.kit	1	1,771,200	1,771,200	東洋大学

(2) 計画研究における支出のうち、旅費、人件費・謝金、その他の主要なものについて、年度ごと、費目別に、金額の大きい順に使途、金額、研究上必要な理由等を具体的に記述してください。

【平成 24 年度】

・旅費

1. BLAST 会議(アメリカ, ツーソン)参加(大阪⇄ツーソンの交通費, 宿泊費) ¥1,363,779(宮田班)

・人件費・謝金

1. 研究員の雇用 ¥1,173,951(総括班), 研究補佐員の雇用 ¥424,130(総括班), 事務補佐員の雇用 ¥530,700(総括班), 研究補佐員の雇用 ¥1,642,120(森班), 研究補佐員の雇用 ¥545,150(本間班), 事務補佐員の雇用 ¥87,600(本間班), アルバイトの雇用 ¥454,050(伊藤班), 研究員の雇用 ¥3,071,675(上田班)

2. 第 18 回べん毛交流会招聘(群馬県, よろこびの宿しん喜) John Sandy.Parkinson(University of Utah 名誉教授)外, 外国人研究者 1 名 計 774,060(総括班)

3. 第 86 回日本細菌学会総会招聘(千葉県, 幕張メッセ) Thomas G.Bernhard(Harvard Medical School, Associate Prof.)外, 外国人研究者 1 名 計 ¥558,970(総括班)

・その他

1. 第 50 回日本生物物理学会年会シンポジウム招聘 Joshua Shavitz(Princeton Univ Prof) ¥282,800(総括班)

2. 領域ウェブサイト制作 ¥1,459,500(総括班)

【平成 25 年度】

・旅費

1. ゴードン会議(アメリカ, ベンチュラ)参加(東京⇄ベンチュラの交通費, 宿泊費) ¥634,561(伊藤班)

2. Biophysical Society 58th Annual Meeting(アメリカ, サンフランシスコ)参加(東京⇄サンフランシスコの交通費, 宿泊費) ¥532,810(上田班)

3. アメリカ微生物学会(アメリカ, デンバー)参加(東京⇄デンバーの交通費, 宿泊費) ¥225,590(伊藤班)

・人件費・謝金

1. 研究員の雇用 ¥1,847,916(総括班), 研究補佐員の雇用 ¥2,440,269(総括班), 事務補佐員の雇用 ¥967,364(総括班), 研究員の雇用 ¥8,400,461(宮田班), 事務補佐員の雇用 ¥764,807(宮田班), 研究員の雇用 ¥4,054,355(森班), 研究補佐員の雇用 ¥1,898,868(森班), 研究員の雇用 ¥4,794,875(本間班), 研究補佐員の雇用 ¥4,347,403(本間班), 研究員の雇用 ¥4,465,700(伊藤班), 研究補佐員の雇用 ¥2,347,567(伊藤班), 研究員の雇用 ¥4,869,815(中山班), 研究員の雇用 ¥4,886,000(福森班), 研究員の雇用 ¥8,434,946(上田班), 研究補佐員の雇用 ¥290,678(上田班)

第 19 回べん毛交流会招聘(広島県, 広島県民文化センター) Liz Sockett(Univ. of Nottingham, Prof)外, 外国人研究者 6 名 (総括班) 計 ¥581,300

2. 第 19 回べん毛交流会招聘(広島県, 広島県民文化センター) Garald L Hazelbauer(Univ. of Missouri Prof)外, 海外からの研究者 6 名(本間班) 計 ¥565,850

3. 第 77 回日本生化学会中部支部例会招聘(愛知県, 名古屋大学) 野地博行(東京大学大学院工学系研究科 教授)外, 日本人研究者 3 名(総括班) 計 ¥234,180

・その他

1. GE ヘルスケア LAS3000 mini 修理一式 ¥1,572,900(中山班)

2. 第 51 回日本生物物理学会年会シンポジウム招聘 Howard Berg(Harvard Univ Prof) ¥1,067,440(総括班)

3. 第 87 回日本細菌学会総会シンポジウム開催 ¥320,000(総括班)

4. 第 51 回日本生物物理学会年会シンポジウム開催 ¥238,035(総括班)

5. 領域ウェブサイト内図鑑サイト制作 ¥367,760(総括班)

6. スマートフォンアプリ ¥1,382,400(総括班)

【平成 26 年度】

・旅費

1. 20th IOM(ブラジル, ブルメナウ)参加(大阪⇄ブルメナウの交通費, 宿泊費) ¥1,341,447(宮田班)

2. 4th International Meeting on Magnetotactic Bacteria 参加(金沢⇄リオデジャネイロの交通費, 宿泊費) ¥760,000(福森班)

3. BLAST XⅢ(アメリカ, ツーソン)参加(名古屋⇄ツーソンの交通費, 宿泊費) ¥299,319(本間班)

4. 国際極限環境微生物会議(ロシア, サンクトペテルブルク)参加(東京⇄サンクトペテルブルクの交通費, 宿泊費) ¥226,170(伊藤班)

・人件費・謝金

1. 研究員の雇用 ¥827,208(総括班), 研究補佐員の雇用 ¥2,165,088(総括班), 事務補佐員の雇用 ¥1,152,567(総括班), 研究員の雇用 ¥16,678,290(宮田班), 事務補佐員の雇用 ¥1,034,305(宮田班), 研究員の雇用 ¥4,097,773(森班), 研究補佐員の雇用 ¥2,134,730(森班), 研究員の雇用 ¥398,809(本間班), 研究補佐員の雇用 ¥6,664,872(本間班), 事務補佐員の雇用 ¥311,994(本間班), 研究員の雇用 ¥4,472,650(伊藤班), 研究補佐員の雇用 ¥3,493,309(伊藤班), 研究員の雇用 ¥5,056,615(中山班), 研究員の雇用 ¥5,412,000(福森班), 研究員の雇用 ¥5,451,595(上田班), 研究補佐員の雇用 ¥4,359,428(上田班)

2. 日本生体エネルギー研究会第 40 回討論会招聘(愛媛大学南加記念ホール, 愛媛県) 安藤敏夫(金沢大学理工学研究域 教授)外, 日本人研究者 2 名 計 ¥210,340(総括班)

・その他

1. 第 52 回日本生物物理学会年会シンポジウム開催 ¥221,076(総括班)

【平成 27 年度】

・旅費

1. ゴードン会議(アメリカ, ベンチュラ)参加(東京⇄ベンチュラの交通費, 宿泊費)¥357,936 円(伊藤班)
2. Barts and The London Dental School of Medicine and Dentistry(イギリス, ロンドン)にて共同研究 ¥343,070(中山班)
3. 環太平洋化学会(アメリカ, ハワイ)参加(東京⇄ハワイの交通費, 宿泊費) ¥304,240 円(伊藤班)
4. ゴードン会議(アメリカ, ベンチュラ)参加(東京⇄ベンチュラの交通費, 宿泊費) ¥298,466 (本間班)

・人件費・謝金

1. 研究員の雇用 ¥4,195,486(総括班), 研究補佐員の雇用 ¥714,970(総括班), 事務補佐員の雇用 ¥818,419(総括班), 研究員の雇用 ¥12,505,052(宮田班), 事務補佐員の雇用 ¥1,041,104(宮田班), 研究員の雇用 ¥4,227,963(森班), 研究補佐員の雇用 ¥2,189,939(森班), 研究補佐員の雇用 ¥11,474,883(本間班), 事務補佐員の雇用 ¥998,777(本間班), 研究補佐員の雇用 ¥4,767,024(伊藤班), 研究員の雇用 ¥5,403,489(中山班), 研究員の雇用 ¥5,749,000(福森班), 研究員の雇用 ¥6,621,394(上田班), 研究補佐員の雇用 ¥368,599(上田班)

・その他

1. 第 89 回日本細菌学会総会シンポジウム開催 ¥322,920(総括班)
2. 第 53 回日本生物物理学会年会シンポジウム開催 ¥219,348(総括班)

【平成 28 年度】

・旅費

1. 5th International Meeting on Magnetotactic Bacteria(フランス, マルセイユ)参加(金沢⇄マルセイユの交通費, 宿泊費) ¥2,145,000(福森班)
2. 21st IOM(オーストラリア, ブリスベン)参加(大阪⇄ブリスベンの交通費, 宿泊費)¥2,102,982(宮田班)
3. 第 1 回ベトナム応用&環境微生物国際会議(ベトナム, ホーチミンシティ)に参加(東京⇄ホーチミンシティの交通費, 宿泊費) ¥378,847(伊藤班)
4. アメリカ微生物学会(アメリカ, ポストン)参加(東京⇄ポストンの交通費, 宿泊費)¥291,710(伊藤班)

・人件費・謝金

1. 研究員の雇用 ¥1,903,342(総括班), 研究補佐員の雇用 ¥1,047,719(総括班), 事務補佐員の雇用 ¥914,362(総括班), 研究員の雇用 ¥14,462,139(宮田班), 事務補佐員の雇用 ¥2,339,330(宮田班), 研究員の雇用 ¥4,287,434(森班), 研究補佐員の雇用 ¥2,143,833(森班), 研究補佐員の雇用 ¥2,582,477(本間班), 事務補佐員の雇用 ¥1,066,354(本間班), 研究補佐員の雇用 ¥2,457,015(伊藤班), 研究員の雇用 ¥5,593,553(中山班), 研究員の雇用 ¥5,565,000(福森班), 研究員の雇用 ¥10,165,075(上田班)

・その他

1. 国際シンポジウム「Now in actin study: Motor protein research reaching a new stage」会議費(愛知県, 名古屋大学 ES 総合館) ¥410,847(総括班)
2. 第 90 回日本細菌学会総会 シンポジウム開催 ¥324,120(総括班)
3. 第 54 回日本生物物理学会年会 シンポジウム開催 ¥314,020(総括班)

(3) 最終年度(平成 28 年度)の研究費の繰越しを行った計画研究がある場合は、その内容を記述してください。

<総括班>7,5000,000 円

運動超分子マシナリーが織りなす調和と多様性の総括

事由: 機器の故障

平成 29 年度 1 月までに事前準備, 急速凍結レプリカ法の技術開発, 2 台の電子顕微鏡で画像撮影を行い, 平成 29 年 3 月までに電子顕微鏡画像の解析, 結果取りまとめと発表を行う予定であった。

平成 28 年 9 月, 画像撮影に用いていた電子顕微鏡 2 台の内 1 台に不測の故障が生じた。同機種 of 部品供給が終了しているため, 現在まで復旧の目途はまだ立っておらず, 当面は 1 台での撮影となるため, 追加の 5 カ月間を要する。

<宮田班>3,400,000 円

マイコプラズマ滑走運動のメカニズム

事由: 研究方式の決定が困難

平成 29 年 2 月までに, 事前準備, 組換え体タンパク質複合体発現系の構築, 組換え体タンパク質複合体の精製, 組換え体タンパク質複合体の構造決定, 組換え体タンパク質複合体の構造解析を行い, 平成 29 年 3 月までに, 結果取りまとめを行う予定であった。

平成 28 年 12 月, 組換え体タンパク質複合体の構造を決定し解析を進めた結果, 当初の予想に反し, 天然タンパク質複合体と部分的に異なる構造をとっていることが明らかとなった。研究遂行上, この現象の本質を見極めることが不可欠であることから, 種々のタンパク質変異体を作成してそれぞれの構造を検討する必要が生じた。

9. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度（1 ページ以内）

研究領域の研究成果が、当該学問分野や関連分野に与えたインパクトや波及効果などについて記述してください。

当領域の特徴である、以下の4つに焦点を当てて解説する。

(1) モータータンパク質研究者と微生物研究者の交流

モータータンパク質で実績のあった早稲田大(当時産総研)の上田らと、細菌学で実績のあった長崎大の中山らを、それぞれ計画班として設置した。また、公募班、新井、西山、和田、そして総括班の西坂はモータータンパク質研究などで培った技術を新しいテーマに応用し、公募班、見理、錦見、垣内、増田、片山、春田、加藤、田代、林、玉腰、はそれぞれ独自のテーマを先端的技術で解析した。これら全てがシナジー効果を生み優れた結果を残した。特に中山班は、総括班、和田公募班、中根公募班らと協力してバクテロイデーテス門の滑走運動の理解を大きく進めることに成功し(PNAS2013, Nat Commun リバイス中)、さらに領域外共同研究によってバクテロイデーテス接着の理解にも多大な貢献を果たした(Cell 2016)。これらの功績もあって中山は2016年度日本細菌学会の最高賞である浅川賞に輝いた。

(2) 新たな研究テーマ

宮田班のモリクテス綱の二種類の運動(PLOS Pathogens2016, MBio2016, Front Micro2017)、伊藤班の二価カチオンで回転する細菌べん毛(Sci Rep2017)、中根班のアーキアべん毛(Nature Microbiology 2017)、藍藻の滑走運動(PNAS2017)、藍藻の遊泳運動、岩楯班のメタクロウエーブ伝達機構(Biophysical Journal2017)、西山班の高圧細菌遊泳(Biophysical Chemistry2017)、稲葉班のハプト藻など、これまで研究されることがない、あるいはほとんど進展がなかった多数のテーマそれぞれについて研究をスタート、あるいは加速させることに成功した。本領域での結果がきっかけになり、それぞれ新たな研究分野へと展開することが期待される。

(3) 地球全生命における生体運動の系譜と進化論理

本領域の実施により、これまで見つかっている生体運動が17種類のメカニズムに分類できること、そしてそれぞれのアウトラインが示された。また、宮田班が明らかにしたマイコプラズマ滑走モーターの構造は、進化における生体運動発生の過程を鮮やかに示すものであった。私たちはこれらの結果を基に、ゲノム情報から明らかになった新しい系統樹の上に(Spang A et al. 2015 Nature, PMID: 25945739, Hug LA et al. 2016 Nature Microbiology, PMID: 27572647)、17種類の生体運動メカニズムを俯瞰することに成功した。すなわち、「輸送装置から発生したべん毛と線毛は、優れたシステムとして多くの細菌に広く分布していた。しかし、これらはペプチドグリカンへのアンカーを条件とするため、アーキアから真核生物へ進化した生物には維持できなかった。融合して巨大細胞になった真核生物では、細胞内輸送が必要となり、細菌ではDNAやペプチドグリカン合成装置を運んでいた“細胞骨格”を有効に使うようになった。ペプチドグリカンを失うことと巨大化することで可塑性を得た真核生物は、細胞内輸送のために発生させた力を外部に伝えることで、新たな運動能を獲得した。」Tree of Motilityと名付けたこの議論は、領域の結論として投稿準備中であり、今後生体運動の進化を考えるための基礎になると期待される。

(4) 急速凍結レプリカ電子顕微鏡法

本法は、クライオ電子顕微鏡法と異なり、平均化の必要のない高コントラストかつ広い範囲の像が、サブミクロン、サブミリ秒の空間、時間分解能で得られる方法である。総括班の技術開発により、美しい像が比較的容易に得られるようになり、また、微生物に応用するためのノウハウも蓄積した。そのため、本事業は大阪市立大学に引き継がれた。逆に他研究機関に目を向けると、同法を使える研究者の高齢化は世界的に深刻である。現在、国内外の研究機関と12件、国内の企業と2件の共同研究が進行中である。すでに1つの論文は発表済みである(Nat Commun2017)。

10. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況（1ページ以内）

研究領域内での若手研究者育成の取組及び参画した若手研究者（※）の研究終了後の動向等を記述してください。

※研究代表者・研究分担者・連携研究者・研究協力者として参画した若手研究者を指します。

研究代表者前半9名、後半11名の若手研究者を公募班代表として採択した。森本雄祐は理研・博士研究員から九工大助教へと栄転した。

研究協力者それぞれの所属班と現在のポジションを示す。浜口 祐（宮田計画班）理化学研・博士研究員；Chrotilde Bertin（宮田計画班）日立ハイテクノロジーズ・社員；Isil Tulum（宮田計画班）大阪市大・博士研究員；南野美紀（宮田計画班）大阪大・博士研究員；笠井大司（宮田計画班）法政大・博士研究員；田原悠平（宮田計画班）大阪市立大・研究員；石井英治（森班）京大・学振特別研究員；吉海江国仁（森班）奈良先端大・研究員；小林琢也（豊島公募班）東大・博士研究員；市川宗巖（豊島公募班）カナダ・マギル大学・学振博士研究員；鳥澤嵩征（豊島公募班）情報通信研究機構バイオ ICT 研究室・博士研究員；安田 哲（荒田公募班）旭川医科大学・助教；Vu Thi Hang（池上公募班）浜松医科大・特任助教；朱 世偉（本間班）テキサス大（米国）・博士研究員；竹川宜宏（本間班）大阪大・学振研究員；佐久間麻由子（本間班）名古屋大アイソトープ総合センター・講師；田口温子（伊藤班）群馬大・機器分析センター技術部；高橋優嘉（伊藤班）実験補助員；石原沙耶花（錦見公募班）北里大理学部・助手；中根大介（中山班）学習院大・助教；柴田敏史（中山班）沖縄科技大・スタッフサイエンティスト；Zachery Oestreicher（福森班）オハイオ州大・博士研究員；菊池洋輔（福森班）ERATO「野村集団微生物制御」・博士研究員；柴田桂太郎（上田班）Padova 大学・博士研究員；Kien Xuan Ngo（上田班）理研；野口太郎（上田班）国立都城工業高等専門学校・物質工学科・講師；五味淵由貴（上田班）帝京大理工学部・博士研究員；Md. Shafiqul Islam（中村公募班）バングラデシュ農大・助教；高部響介（中村公募班）東北大・学振博士研究員；大前陽輔（垣内公募班）東大大学院医学系研究科・特任助教；堀田淑坤（増田公募班）東工大ポスドク；廣瀬未果（岩崎公募班）AMED事業プロジェクト相関構造解析にて特任研究員；藤本智子（武谷公募班）福岡市立こども病院医師；生島智基（武谷公募班）九州大大学院医学研究院循環器外科学・助教；諸星 聖（春田公募班）（株）テクノスルガ勤務；福島俊一（春田公募班）首都大東京・博士研究員；片野 幸（林公募班）滋賀医科大日本学術振興会・特別研究員；高木智子（馬淵公募班）日本女子大・学術研究員；水原志暢（高野公募班）コンチネンタル・オートモーティブ・ジャパン株式会社・研究開発；森脇崇史（五島公募班）株式会社 Trans chromosomic；Anastasia Audrey（進藤公募班）グロニンゲン大（オランダ）・博士研究員；大澤奈津美（進藤公募班）住友電気情報システム株式会社；木下佳昭（中根公募班）フライブルク大（ドイツ）・学振 海外特別研究員

受賞中村修一（研究代表者，東北大）2017 年 Microbiology, editor's choice, 2015 年日本生物物理学会年会若手奨励賞；渡辺力也（研究代表者，東京大）2017 年公益財団法人 新世代研究所(ATI) 研究奨励賞，2016 年 RSC Lab on a Chip Emerging Investigators, 2016 年公益財団法人 コニカミノルタ科学技術振興財団 画像科学奨励賞 優秀賞，2015 年文部科学大臣表彰若手研究者賞；中根大介（研究代表者，学習院大）2015 年日本細菌学会黒屋奨学賞；清水 隆（山口大）2015 年日本細菌学会黒屋奨学賞；垣内力（研究代表者，東京大）2014 年日本細菌学会小林六造記念賞；塩見大輔（研究代表者，立教大）2014 年日本細菌学会黒屋奨学賞；古寺哲幸（総括班）2015 年日本生物物理学会年会若手奨励賞；竹川宜宏（本間班，研究協力者）2016 年育志賞；木下佳昭（中根公募班，研究協力者）2017 年育志賞，2016 年日本生物物理学会年会若手奨励賞；高橋優嘉（伊藤班，研究協力者）2013 年日本農芸化学会関東支部若手奨励賞；Chrotilde Bertin（宮田班，研究協力者）2016 年大阪市立大学 女性研究者奨励賞（岡村賞）。その他の学会発表賞などが全 36 件。

11. 総括班評価者による評価（2ページ以内）

総括班評価者による評価体制や研究領域に対する評価コメントを記述してください。

石渡信一（早稲田大学・理工学術院・名誉教授）

生物運動系の研究は、長年にわたって筋収縮系の研究を中心に、近年1分子研究が可能になってからは、非筋細胞内で働く分子モーターの仕組みを中心に進展してきた。多数個集まることで機能する筋収縮系については分子間協同性など未解明の課題はあるが、アクチンフィラメント上を1分子で歩行するMyosinVやVI、微小管上を歩行するKinesin分子モーターの歩行機構については、ある程度明らかになり、残るはDyneinという複雑な構造をもつ分子モーターの運動機構の解明というのが現状である。その中にあって、本“運動マシナリー”領域は、分子モーターの仕組みに関する“本流”研究から外れてきたが、様々な生命活動において多彩な様相を示し、多様な機能を発揮している分子モーター系に着目したもので、生物学として意義のあるものである。とくに、領域代表が取り上げたマイコプラズマの運動装置は、高等生物の運動系には全く見られない特異な構造をもち、生物運動系の多様性を明らかにする上で恰好の研究対象であった。しかも、マイコプラズマの運動装置を構成するタンパク質群が、何とミトコンドリア膜に存在するATP合成酵素FOF1-ATPaseと相同だという、本研究期間で明らかになった驚くべき事実は、本領域を新学術領域として発足推進したことの大きな成果である。この成果を頂点にして、細菌回転モーターのBrownianラチェット機構や細菌滑走モーターの新規構造、そしてアメーバ運動を担うアクチン動態の力学応答性の解明など、力発生装置と機構に少なくとも17種類の多様性が存在し、そこに共通する動作原理と、異なる運動形態に固有の動作原理とが解明されつつあることは、当初の目標を達成したものと見える。こうして、様々な生物運動システムの研究が大きく進展したことから、生命活動における生物運動の多様性の意義を明らかにしたものと評価する。さらに特記すべきは、本領域のテーマの特徴を生かし、生物界に存在する多様な運動形態をビデオライブラリーとして整え、当該研究者内に限らず、公の共有財産にしたことである。こうして、生物運動分野の研究レベルの底上げとともに、アウトリーチ活動にも趣向をこらしたことも評価できる。

笹川千尋（千葉大学真菌医学研究センター長，特任教授；東京大学・名誉教授），

北 潔（長崎大学・熱帯医学・グローバルヘルス研究科長，教授；東京大学・名誉教授）（共著）

研究領域の運営

本領域が多様な分野から多くの研究者を結集し、学際的に新しい学問領域を築いた意義は極めて高く評価できる。この成果は領域代表者が自ら科学的な新知見を求めて研究に邁進するとともにリーダーシップを大いに発揮した事、またメンバー相互の緊密な連携によるところが大きい。これはこの5年間に公表された400報近い論文の1割以上が領域内の共同研究によるものである事によっても自明である。

研究領域の科学的進展への貢献

生体における運動に関する研究は生命科学の代表的な領域の一つであり、アクチン、ミオシンやキネシン、ダイニンなどの重要なキープレーヤーやその運動に関わる分子機構が優れた研究者によって解かれてきた。この様な「伝統的」なモータータンパク質の研究に対し、本領域は生体運動の多様性を明らかにし、細菌の鞭毛運動をはじめとするこれまで解明されていなかった生体運動に関する新たな理解を与えるものである。多くの成果が出ており、枚挙にいとまがないが、中でも領域代表者の宮田博士のマイコプラズマの滑走に関する研究はその機構を解明したばかりでなく、この系が接着タンパク質とFoF1型のいわゆるATP合成酵素から進化の過程で構築されてきた事を示し、生体エネルギー研究の視点からも極めて貴重な新知見を得る事ができたと高く評価したい。また、福森博士（金沢大学）磁性細菌の磁気オルガネラであるマグネトソームに局在するアクチン様タンパク質MamKについての研究は、MamK繊維のトレッドミル運動を見出し、マグネトソームが磁気センサーとして機能することを明らかにした点が非常にオリジナルである。他にも多くの優れた研究成果が本研究領域で得られており、この成果をもっと一般にアピールできないかと少々残念な

気持ちである。

研究領域の将来への期待

上記の様に本研究は極めて優れた成果をあげて来たが、同時に

- (1) クライオトモグラフィー電子顕微鏡観察法、急速凍結フラクチャー電子顕微鏡観察法、および高速AFMの3つの可視化技術の開発と提供
- (2) 質量分析の技術提供
- (3) 3Dプリンターの共有
- (4) ビデオライブラリーと図鑑の開発

などを通じて異分野の研究者間の交流とアウトリーチ活動を積極的に推進してきた。このような研究の連携システムの構築とアウトリーチは科学の発展に関して非常に重要であり、今後のこの研究分野のさらなる進展に大いに貢献すると考えられる。生体運動の奥はまだまだ深く、本研究領域が全てを明らかにしたとは言い難い。本研究で育成された若手研究者を中心とした、次世代の生体運動研究に期待したい。

難波啓一(大阪大学大学院生命機能研究科・名誉教授)

本領域では、これまで半世紀以上にわたって詳細に研究されてきた、アクチン繊維ベースのミオシン系モーターや微小管ベースのキネシン・ダイニン系モーターだけでは説明できない生体運動を主たる研究標的として、細菌や原生生物の表面滑走運動や遊泳運動などを駆動する新たなモーター分子群の同定や運動駆動システムの立体構造解明、そしてそれらの動作メカニズムの解明を目指した挑戦的な領域である。従来の細胞生物学、生化学、分子生物学的手法に加え、クライオ電子顕微鏡、質量分析、一分子光学計測、X線結晶解析、高速原子間力顕微鏡など最先端の計測解析技術を駆使した、原子レベルから超分子複合体レベルでの研究が計画班と公募班研究グループの密な協働研究体制により意欲的に推進され、さまざまな生体運動系で興味深い成果がつぎつぎと産み出された。ある生体運動系ではまったく新たな構造を持つタンパク質複合体の関与が同定され、またある生体運動系では既知のタンパク質ファミリーが予想を超えた形で関与するようすが発見された。こうして、生命システムの進化と多様性についての深い洞察に重要な手掛かりを与える成果が数多く得られたことにより、この研究分野は生命科学の今後の発展のなかで重要な潮流となるべく大きく新たな展開を見せ始めている。この領域の当初の研究計画を超えた素晴らしい成果である。総括班はこれらの協働研究各テーマの研究推進ガイド役として、グループ間の円滑かつ頻繁なコミュニケーションの場を作りつつ、必要な計測解析技術を柔軟に提供し合える体制を整え、この新しい研究分野の飛躍的な発展に貢献した。その功績はきわめて大きく重要である。