

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02896

研究課題名(和文)細胞運動の動力学ダイナミクスの分子・遺伝子発現シミュレーションによる理解

研究課題名(英文) Understanding of cell migration dynamics through molecular and genetic simulations

研究代表者

松野 浩嗣 (Matsuno, Hiroshi)

山口大学・大学院創成科学研究科・教授

研究者番号：10181744

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：細胞運動を発現するメカニズムの包括的理解のために、生理学的研究および構成論的研究をおこなった。

生理学的研究では、細胞性粘菌アメーバ、好中球HL-60細胞、ゾウリムシ等において、機械的刺激や化学的刺激がどのように受容され、その刺激が遊走運動や遊泳運動をいかに引き起こすか、その情報受容・伝達過程を解明した。構成論的研究では、遺伝子発現シミュレーションを行い、運動生成に関与するアクチン重合の遺伝子発現プロセスの推定を行った。さらに、分子動力学シミュレーションによって、細胞運動のための形状変化を引き起こすにはどのような分子メカニズムが必要かを検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、アメーバ運動を行う細胞による基質の硬さの検知において運動生成にも重要なタンパク質であるミオシンIIが関与すること、ゾウリムシの機械刺激や化学刺激の受容に関わるタンパク質やカルシウムチャンネルが繊毛運動発現にも関わることを明らかにした。これらは、細胞運動生成が信号受容と緊密な関係があることを示す学術的に重要な発見である。また、細胞遊走の発現にはアクチン分子の分布形状やアクチンを引戻すアクチン・レトログレード・フローの向きなどが限られた条件を満たすときに生じることが構成論的研究で明らかになった。これは、細胞遊走の理解に巨視的ダイナミクスの理解が不可欠なことを示す重要な知見である。

研究成果の概要(英文)：To comprehensively understand the mechanisms underlying cell migration, we conducted physiological and constitutive studies. In physiological studies, we investigated how mechanical and chemical stimuli are received by cellular slime mold amoebae, neutrophil HL-60 cells, and paramecium, and how these stimuli induce migratory and swimming locomotion. In the constitutive study, gene expression simulations were conducted to speculate the gene expression process of actin polymerization, which is involved in the generation of migration. Furthermore, molecular dynamics simulations were conducted to examine what molecular mechanisms are required to induce shape change for cell migration.

研究分野：バイオインフォマティクス

キーワード：アメーバ運動 細胞遊走 遊泳運動 繊毛運動 分子シミュレーション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

白血球の一種である好中球はアメーバ運動を行う(Parent et al. Science, 1999). この運動生成は, (1)基質接着因子により環境(基質)に対する足がかり(力の作用点)を作り, (2)アクチンフィラメントの重合により足がかりに対して力を加え, (3)足がかりを解放して身体を移動するプロセスによる. 目的の方向に進むには, その足がかりの移動のタイミングや位置決定, また, 複数の足がかりに作用される力の向きと大きさの統制を環境(基質)に応じて適応的に行なう必要がある. すなわち, 生体の適応的な移動運動は, 環境との相互作用, 遺伝子発現, 神経系や生体の物理特性による情報処理といった一連のプロセスにより発現, 調整されている. 生体機能発現機序の理解のためには, この一連のプロセスにより構成されるシステムのダイナミクスの理解が不可欠である.

2. 研究の目的

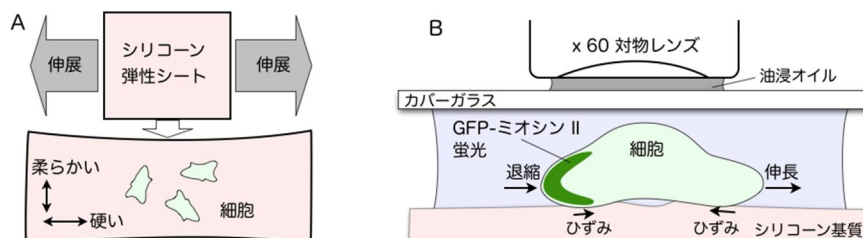
生体の移動運動の発現メカニズムは, 従来, 運動発現に関与するアクチュエータに着目して議論されている. 本研究の目的は, 細胞運動を創発するメカニズムを, 細胞を構成する分子の力学的振る舞いや遺伝子発現といったミクロなレベルから理解することである. 具体的には, アメーバ運動を行なう白血病細胞(HL-60)等や遊泳運動を行うゾウリムシについて, (1) 細胞運動発現メカニズムの生理学的検討および, (2) 細胞運動に関わる遺伝子発現機序の解明を行う. さらに, これらの知見を踏まえて, (3) 細胞運動発現メカニズムの構成論的研究を数値シミュレーションによって行うことで, ミクロな物質構造や遺伝子発現と, 環境との相互作用により生成されるダイナミクスがいかにマクロな運動生成に寄与するかを解析し, 細胞移動を発現する情報処理の本質的特徴を明らかにする.

3. 研究の方法

(1) 細胞運動発現メカニズムの生理学的検討

(1-a) アメーバ運動における機械的刺激応答機序の解明

生きている細胞は周囲の環境の機械的特性を感知し, それに応じて反応する. アメーバ運動をする細胞は, 細胞接着している基層の硬さを検出し, 特定の方向に移動することが知られている. アメーバ細胞は2つのカテゴリー, すなわち動きの遅い細胞型と動きの速い細胞型に分類できる(Okimura and Iwamoto 2017). 遅いタイプは, 基質の硬さの勾配に応じて基層の硬い領域に向かって移動する. しかし, 高速移動タイプの細胞の硬さ検知に関する情報は殆どなかった. 本研究では, 方向によって異なる剛性を持つ異方性基質を使用して高速で移動する細胞性粘菌アメーバと好中球様の分化した HL-60 細胞をそれぞれの基質上に播種し移動の様子をつぶさに観察, 記録し, 移動方向の推移やタンパク質動態を解析した.



(1-b) ゾウリムシの遊泳運動における機械的刺激応答機序の解明

ゾウリムシは機械刺激に対して、膜電位変化を起こし、遊泳方向を変化させる。そこでゾウリムシがどのように機械刺激を感受し、遊泳行動の様相を決定するのかを明らかにするための実験を行った。

(1-c) 細胞運動における化学刺激応答機序の解明

ゾウリムシの化学物質受容におけるセンシング機構と、その刺激受容によって起こる行動反応の制御機構および、繊毛打波形の形成にどのような影響を与えているのかを遺伝子ノックダウン細胞を用いて解析した。

(2) 細胞運動に関わる遺伝子発現機序の解明

細胞運動の駆動力となるアクチン重合は、シグナル伝達と呼ばれる連鎖的な生体反応で細胞の外から内へ情報を伝えるシステムによって制御されている。本研究では、シグナル伝達経路の接続情報を維持したままで数理的なモデル化を可能とするペトリネットを用いてアクチン重合をシミュレーションした。まず、依存経路の2つのシグナル伝達経路を取り扱い、シミュレーションが正常に動作することを確かめた。次にこれらを結合し、細胞運動におけるアクチン重合のシミュレーションを実施した。さらにノックアウトシミュレーション実験を行い、細胞運動の異常の遺伝子発現機序についての理解を試みた。

(3) 細胞運動発現メカニズムの構成論的研究

(3-a) 細胞運動のための形状変化を生み出す分子プロセスの解明

細胞内のミクロな物質構造の変化が、細胞の形状変化及び細胞の移動を生み出す仕組みを物理学的に考察するには、分子レベルからの秩序構造形成、および構造の変化を調べる必要がある。ここでは、粗視化モデルを用いた分子動力学シミュレーションにより、ベシクルが形状変化を起こすための条件を調べた。

(3-b) 細胞運動を生み出す情報伝播機序の解明

魚類表皮ケラトサイトは通常円形の形状であるが、細胞遊走を始めると形状を半月状に変える。このことは、形状変化がケラトサイトの細胞遊走における重要な要素であることを示唆する。本研究では、細胞遊走中にアクチン分子の先端が細胞膜に向かって伸びるアクチン重合(AP)や、細胞遊走時には細胞後部の左右に広がるストレスファイバー(SF)、SFに向かってアクチン分子を引き戻すアクチン・レトログレード・フロー(ARF)をモデル化した分子シミュレーション実験を行い、半月状の細胞変形と細胞遊走が生じる条件を検討した。

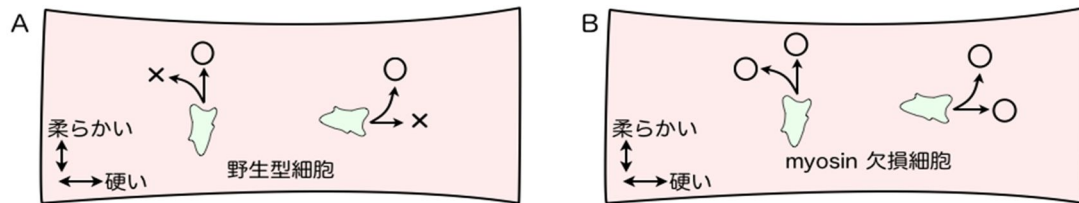
4. 研究成果

(1) 細胞運動発現メカニズムの生理学的検討

(1-a) 細胞運動における機械的刺激応答機序の解明

縦横で硬さの異なる異方性基質上に細胞性粘菌アメーバ 好中球用 HL-60 細胞を播種し、それら細胞の様子を解析した。細胞性粘菌アメーバ、HL-60 細胞いずれも、柔らかい方向に移動した(下図 A)。さらに、どういう移動様式で柔らかい方向に向かうのか検討した。軌跡を詳しく解析すると、細胞性粘菌アメーバ、HL-60 細胞いずれも、移動速度は柔らかい方向と硬い方向で同一であるが、方向変換の頻度が硬い方向から柔らかい方向に変換する頻度が柔らかい方向から硬い方向に方向変換する頻度よりも高いことがわかった。すなわち、速く移動する細胞種は硬い方向を避けるのである。ミオシン II を欠損した細胞性粘菌アメ

ーバを異方性基質上に播種した場合、いずれの方向にも等頻度で進んだ(下図 B)ことから、柔らかい方向に向かうための分子機構にはミオシン II が関わっていることがわかった (Okimura et al. 2018) .



(1-b) ゾウリムシの遊泳運動における機械的刺激応答機序の解明

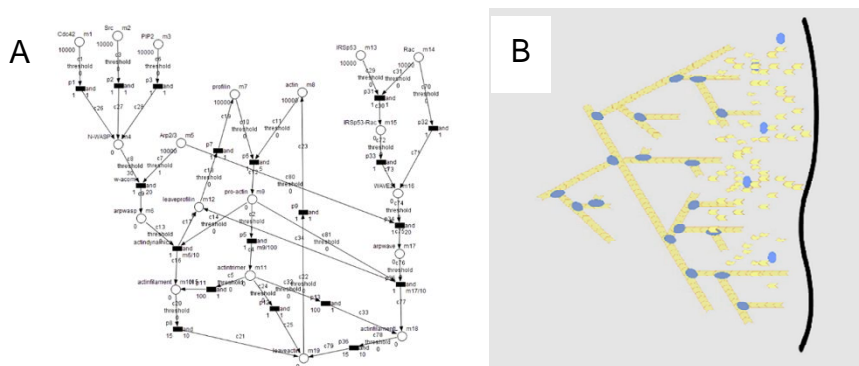
ゾウリムシが弱い機械刺激に対して逃走反応を引き起こすためにはストマチン様タンパク質が受容体として必須であり、このタンパク質が刺激を受容すると、繊毛基部に局在するカリウムチャンネル型アデニル酸シクラーゼを活性化し、過分極を引き起こすと同時に繊毛内 cAMP 濃度を上昇させるため、繊毛運動が強化されて速い前方遊泳を示すことがわかった (Kawano et al., 2020) .

(1-c) 細胞運動における化学刺激応答機序の解明

ゾウリムシの酢酸に対する回避行動には、特定の受容体を必要としないこと、細胞内外のイオン濃度差によって繊毛に局在する電位依存性カルシウムチャンネルが活性化し、繊毛打逆転を引き起こしていることを示唆する結果を得た。また、化学集合の場合は、電位依存性カルシウムチャンネルの活性化による繊毛打逆転と、カルシウム依存性塩素チャンネルの活性化による再分極で、繊毛打方向を通常状態へと戻す反応が繰り返し起こるため、一定の場所にとどまる行動を引き起こしていることがわかった (投稿準備中) .

(2) 細胞運動に関わる遺伝子発現機序の解明

アクチン重合のシグナル伝達過程をペトリネットで表現し (下図 A) , シグナル物質の一部をロックアウトすることで、アクチン重合の様子に生じる変化を視覚的に調べた(下図 B) . その結果、シグナル物質をロックアウトするたびに正常状態と比べアクチンフィラメントの生成量が減少した。これより、アクチン重合のシグナル物質は相加的に働き、どの物質もアクチン重合に必要な不可欠なものとなつた。



(3) 細胞運動発現メカニズムの構成論的研究

(3-a) 細胞運動のための形状変化を生み出す分子プロセスの解明

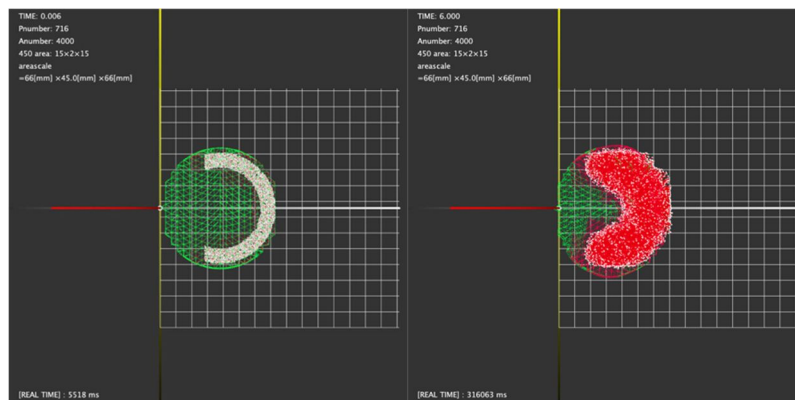
脂質分子のみで構成されたベシクルは、水溶液中で球状、棒状、円盤状、ヒトデ型など多

様な形状をとる。そこで、2分子膜内外の面積差に応じたベシクル形状変化について調べた。その結果、脂質1成分系と脂質2成分系では異なるベシクルの形状変化が観察された。また、脂質2成分系の場合には2分子膜の曲げ弾性エネルギーに加え、2分子膜内外での2種類の脂質の混合エントロピーを考慮することで、ベシクルの形状の変化・分裂メカニズムを説明できることを明らかにした(Urakami et al., 2021a, Urakami et al., 2018)。

さらに、細胞運動に必要な可逆的なベシクル形状変化を実現するために、ベシクル内の高分子鎖がベシクルの形状に及ぼす影響を調べた。その結果、高分子鎖長によって、棒状から円盤状、円盤状から棒状への可逆的な形状変化を観察することに成功した。さらに、高分子鎖の末端のベシクル内での凝集が、ベシクル形状変化を決定することを示す知見を得た。

(3-b) 細胞運動を生み出す情報伝播機序の解明

初期条件として、膜粒子を円柱表面上に配置し、アクチン分子を細胞内のU字型の領域内にランダムに配置し、ARFの向きを細胞中心よりやや後部としてシミュレーション実験を行った(下図(a))。その結果、アクチン分子はケラトサイトの形状に近い半月状に凝集し、細胞遊走が生じた(下図(b))。さらに、ARFの向きをSFから細胞の最後端の点とした場合は、アクチン分子が細胞全体に円形に広く分布する形状となり、細胞遊走の方向も定まらなくなった。また、ARFを無効化した場合には、アクチン分子は放射状に伸長し続け、その結果細胞は膨張し続けた。以上の結果はARFがアクチン分子重合の配向や引き戻しを行っていることがケラトサイトの半月状の形態への変形と維持、そして細胞遊走に重要な役割を果たすことを示している。



<引用文献>

- [1] Okimura, C and Iwate, Y (2017) Journal of the Physical Society of Japan 86: 101002, doi: 10.7566/JPSJ.86.101002
- [2] Okimura, C, Sakumura, Y, Shimabukuro, K, Iwate, Y (2018) Physical Review E 97: 052401, doi: 10.1103/PhysRevE.97.052401
- [3] Kawano, M, et al. (2020) J Eukaryot. Microbiol., 67, 532-540, doi: 10.1111/jeu.12800
- [4] Urakami, N, et al., (2021) Soft Matter 17(37) 8434-8445
- [5] Urakami, N, et al., (2018) Soft Matter 14(16) 3018-3027

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 池田 美由希, 西井 淳	4. 巻 NC2018-80
2. 論文標題 マダコの這行運動における規則性の解明	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 199-204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Okimura, C., Taniguchi, A., Nonaka, S. and Iwdate, Y.	4. 巻 8
2. 論文標題 Rotation of stress fibers as a single wheel in migrating fish keratocytes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 10615
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-28875-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Okimura, C., Sakumura, Y., Shimabukuro, K. and Iwdate, Y.	4. 巻 97
2. 論文標題 Sensing of substratum rigidity and directional migration by fast-crawling cells	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 52401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.97.052401	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 沖村千夏, 谷口篤史, 野中茂紀, 岩楯好昭	4. 巻 59(2)
2. 論文標題 車輪細胞見つけた!	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 生物物理	6. 最初と最後の頁 094-096
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2142/biophys.59.094	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Liu Fei, Sun Deshun, Murakami Ryutaro, Matsuno Hiroshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Modeling and analysis of the Delta-Notch dependent boundary formation in the Drosophila large intestine	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 BMC Systems Biology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12918-017-0455-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Naohito Urakami, Takehiro Jimbo, Yuka Sakuma, Masayuki Imai	4. 巻 14
2. 論文標題 Molecular mechanism of vesicle division induced by coupling between lipid geometry and membrane curvatures	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 3018-3027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7sm02188g	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chika Okimura, Yoshiaki Iwadate	4. 巻 86
2. 論文標題 Directional cell migration in response to repeated substratum stretching	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 101002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.86.101002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H. Wu, A. von Kamp, V. Leoncikas, W. Mori, N. Sahin, A. Gevorgyan, C. Linley, M. Grabowski, A. A Mannan, N. Stoy, G. R Stewart, L. T Ward, D. JM Lewis, J. Sroka, H. Matsuno, S. Klant, H. V Westerhoff, J. McFadden, N. J Plan1, A. M Kierzek,	4. 巻 2
2. 論文標題 MUFINS: multi-formalism interaction network simulator	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 npj Systems Biology and Applications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/npjbsa.2016.32	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Atsushi Mizuta, Qi-Wei Ge, Hiroshi Matsuno	4. 巻 10(1)
2. 論文標題 Dependent shrink of transitions for calculating firing frequencies in signaling pathway Petri net model	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Algorithms	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/a10010004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Sogame, M. Hori, T. Matsuoka	4. 巻 13
2. 論文標題 EF-1 silencing by feeding RNAi suppresses resting cyst formation in Colpoda cucullus Nag-1 strain	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Invertebrate Survival Journal	6. 最初と最後の頁 89-93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okimura, C., Iwadate, Y.	4. 巻 10
2. 論文標題 Hybrid mechanosensing system to generate the polarity needed for migration in fish keratocytes	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Cell Adhesion & Migration	6. 最初と最後の頁 406-418
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/19336918.2016.1170268	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sonoda, A., Okimura, C., Iwadate, Y.	4. 巻 41
2. 論文標題 Shape and area of keratocytes are related to the distribution and magnitude of their traction forces	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Cell Structure and Function	6. 最初と最後の頁 33-43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1247/csf.15008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakata, T., Okimura, C., Mizuno, T., Iwadate, Y.	4. 巻 110
2. 論文標題 The role of stress fibers in the shape determination mechanism of fish keratocytes	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Biophysical Journal	6. 最初と最後の頁 481-492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bpj.2015.12.014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計40件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 徳永 優, 岩楯 好昭, 浦上 直人, 西井 淳
2. 発表標題 ケラトサイトの細胞遊走のシミュレーションモデル
3. 学会等名 数理生物学交流会, 静岡大学 (浜松市), 2019年3月8日
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田 美由希, 西井 淳
2. 発表標題 マダコの這行運動における歩容解析
3. 学会等名 数理生物学交流会, 静岡大学 (浜松市), 2019年3月8日
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片岡祐希, 浦上直人
2. 発表標題 分子鎖の剛直性によるベシクルの形状変化
3. 学会等名 第67回高分子討論会 2018年9月14日 北海道大学
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 片岡祐希、浦上直人
2. 発表標題 高分子鎖の影響によるベシクルの形状変化
3. 学会等名 第33回中国四国地区高分子若手研究会 2018年11月2日 JMSアステールプラザ・広島県広島市
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naohito Urakami, Takehiro Jimbo, Yuka Sakuma, Masayui Imai
2. 発表標題 Molecular dynamics simulation of vesicle division
3. 学会等名 The 12th SPSJ International Polymer Conference 2018年12月5日 International Conference Center Hiroshima (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 沖村千夏、作村諭一、島袋勝弥、岩楯好昭
2. 発表標題 速いアメーバ細胞の Rigidity Sensing
3. 学会等名 生体運動合同班会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中尾 元、沖村千夏、堀 学、岩楯好昭
2. 発表標題 ゾウリムシ表層シート繊毛の頭から広がるメタクロナルウェーブ
3. 学会等名 生体運動合同班会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 ジャニサ、吉村翠、江本光、沖村千夏、岩楯好昭、島袋勝弥
2. 発表標題 アメーバ運動する線虫精子の牽引力測定
3. 学会等名 生体運動合同班会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 沖村千夏、作村諭一、島袋勝弥、岩楯好昭
2. 発表標題 細胞性粘菌や好中球の基質の硬さ感知
3. 学会等名 生物物理学会第56回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中嶋仁珠、沖村千夏、岩楯好昭
2. 発表標題 魚類ケラトサイトの遊走メカニズムに微小管は必要ない
3. 学会等名 生物物理学会第56回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mutsumi Kawano, Ayaka Seto, Takashi Tominaga, Masaki Ishida & Manabu Hori
2. 発表標題 Molecular mechanism of escape response induced by mechanical stimulation in Paramecium
3. 学会等名 生物物理学会第56回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉井学、久保田将、松野浩嗣
2. 発表標題 ペトリネットを利用した細胞内制御ネットワークのモデル化
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会総合大会・チュートリアル講演（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Kaichida, Y. Hashizume, J. Nishii
2. 発表標題 A common strategy of running and walking from the viewpoint of joint synergy
3. 学会等名 Progress in Motor Control XI
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 日置智子, 西井淳
2. 発表標題 歩行中に働く関節間シナジーに対する各脚関節の寄与
3. 学会等名 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 永堀雅之, 西井淳
2. 発表標題 パターン発生機構と反射系が六脚歩行制御のロバスト性に与える影響
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 日置智子, 西井淳
2. 発表標題 The difference in the estimation of joint synergy during walking by UCM and covariation analyses
3. 学会等名 第 27回神経回路学会全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 河野睦, 石田正樹, 富永貴志, 堀学
2. 発表標題 ゾウリムシのイオンチャンネル型アデニル酸シクラーゼの機能について
3. 学会等名 日本生物物理学会中国四国支部大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Osamu Kutomi, Manabu Hori
2. 発表標題 Analysis on the ciliary movements in Paramecium using the ciliated cortical sheet
3. 学会等名 日本生物物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 堀学
2. 発表標題 繊毛研究のモデル生物としてのゾウリムシ
3. 学会等名 日本動物学会 シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 河野睦, 世戸彩華, 石田正樹, 富永貴志, 堀学
2. 発表標題 ゾウリムシの逃走反応におけるストマチン様タンパク質の役割
3. 学会等名 日本原生生物学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 下柘晴菜、浦上直人、山本隆
2. 発表標題 疎水性鎖状分子を修飾したシクロデキストリンが形成する分子デイジーチェーン構造解析
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 下柘晴菜、浦上直人
2. 発表標題 修飾シクロデキストリンによる分子デイジーチェーンの構造形成メカニズム
3. 学会等名 第66回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浦上直人、神保岳大、佐久間由香、今井正幸
2. 発表標題 2分子内外における逆コーン型脂質の不均一性とベシクル分裂
3. 学会等名 第7回ソフトマター研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 下柝晴菜、浦上直人
2. 発表標題 修飾シクロデキストリンによる分子内・分子間包接化合物の安定性
3. 学会等名 第32回中国四国地区高分子若手研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 下柝晴菜、浦上直人
2. 発表標題 分子デイズチェーン構造の形成メカニズム
3. 学会等名 第31回分子シミュレーション討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 沖村千夏、谷口篤史、野中茂紀、岩楯好昭
2. 発表標題 魚類表皮の遊走細胞ケラトサイトの車輪
3. 学会等名 第69回日本細胞生物学会大会シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 沖村千夏、谷口篤史、野中茂紀、岩楯好昭
2. 発表標題 魚類ケラトサイトのストレスファイバの車
3. 学会等名 生体運動合同班会議
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 沖村千夏、谷口篤史、野中茂紀、岩楯好昭
2. 発表標題 A wheel for migration in fish keratocyte
3. 学会等名 生物物理学会第55回年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 日俣直彦、沖村千夏、堀学、岩楯好昭
2. 発表標題 Sources of metachronal wave in Paramecium cilia
3. 学会等名 生物物理学会第55回年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 堀学、石田正樹、富永貴志
2. 発表標題 ゾウリムシ繊毛打の非対称性を生み出す分子機構の解析
3. 学会等名 日本生物物理学会 第8回中国四国支部大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 岩楯好昭
2. 発表標題 ケラトサイトの運動とアクチン細胞骨格のダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会【物性】領域12シンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 岩楯好昭
2. 発表標題 Polarity generation of crawling cells under cyclic substratum-stretching
3. 学会等名 RIMS共同研究「ミクロな振る舞いと集団的パターン形成に係る階層的構造の解明」
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Iwadate, Y.
2. 発表標題 Shape determination and polarity generation for migration depending on stress fibers in fish keratocytes
3. 学会等名 新学術「ゆらぎと構造」領域 領域賞受賞者講演（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Okimura, C., Iwadate, Y.
2. 発表標題 Control of directional migration of fast-crawling cells by the cyclic force application from the substratum
3. 学会等名 The 22nd International Congress of Zoology (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 沖村千夏、岩楯好昭
2. 発表標題 Keratocytes have hybrid mechanosensing system to decide their migration direction
3. 学会等名 生物物理学会第54回年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 下柘晴菜、浦上直人、山本隆
2. 発表標題 修飾シクロデキストリンが形成する包接化合物の構造解析
3. 学会等名 第30回分子シミュレーション討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大下雅人、浦上直人、山本隆
2. 発表標題 高分子鎖によって誘起されるベシクルの形状変化
3. 学会等名 第31回中国四国地区高分子若手研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 浦上直人、神保岳大、佐久間由香、今井正幸
2. 発表標題 ベシクルの分裂メカニズム
3. 学会等名 第6回ソフトマター研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 下柘晴菜、浦上直人、山本隆
2. 発表標題 修飾シクロデキストリンが形成する包接化合物の構造とサイズ
3. 学会等名 第65回高分子討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 下柘晴菜、浦上直人、山本隆
2. 発表標題 修飾シクロデキストリンによる多様な包接化合物の形成
3. 学会等名 第65回高分子学会年次大会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	西井 淳 (Nishii Jun) (00242040)	山口大学・大学院創成科学研究科 ・教授 (15501)	
研究分担者	堀 学 (Hori Manabu) (00253138)	山口大学・大学院創成科学研究科 ・教授 (15501)	
研究分担者	岩楯 好昭 (Iwadate Yoshiaki) (40298170)	山口大学・大学院創成科学研究科 ・教授 (15501)	
研究分担者	浦上 直人 (Urakami Naohito) (50314795)	山口大学・大学院創成科学研究科 ・教授 (15501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
中国	South China University of Technology			