

人間数理研究分野

教授 長山雅晴 (2012. 4~)
准教授 青沼仁志 (2015. 4~)
助教 秋山正和 (2012. 7~)
助教 Elliott GINDER (2012. 10~2016. 3、明治大学へ
転出)
助教 西野浩史 (2015. 4~)
特任助教 上坂 正晃 (2017. 4. 1~)
特任助教 後藤田 剛 (2017. 4. 1. ~)
研究員 須志田 隆道 (2016. 4. 1~)
研究員 一本嶋 佐理 (2017. 4~)
研究員 熊本 淳一 (2016. 4. 1~)
研究員 浪花 啓佑 (2017. 10. 1~)
研究員 堂前 愛 (2017. 6. 1~)
技術補佐員 出羽真樹子 (2013. 4~2018. 1)
事務補助員 富澤ゆかり (2016.11~)

学 生 (平成27年4月~現在)

博士課程後期 3名

修士課程 5名

学部生 7名

1. 研究目標

(1) 生命現象の数理解析

氷などの結晶成長、液滴運動、生物の形作り、細胞運動、アメーバ細胞、無脊椎動物などのロコモーション様式、人間や複雑な環境に適応した動物の脳の働きなど我々の身の回りには様々な現象が満ち溢れている。そして、どの現象にもそれらを引き起こすメカニズムが必ず存在している。我々はこのメカニズムの探究を目標としている。例えば、細胞内では非常に多くの物質が相互に複雑に絡み合い、自由度の大きい系（高次元系）を構成しており、発生現象等の複雑な生命現象を、高い自由度のまま理解することは不可能に近い。そこで、まずは自由度の小さいモデル系（toyモデル）を構成し、モデル系が現象を説明しているのかを考察するのである。トップダウン的なこの考え方は、うまく toy モデルを構成出来れば一見複雑に見える現象も見通しよく簡単に説明することができる。しかし、現象の細部には目をつぶらねばならない場合もある。そこで、toy モデルを構成し実際の現象を深く観察・実験し toy モデルに不足分を付け加えることで現象を説明する最小限のモデルを作ることを目指す。即ち、現象を再現するための数理モデル化ではなく、数理モデルを作りながら現象の本質となっている部分を抜き出すのである。我々はこの一連のプロセスを単に数理の範疇だけで行うのではなく、実験系研究者と緊密に連携を取りながら、生命現象に潜むメカニズムを解明していくことが目標である。

(2) 自己駆動粒子運動の数理科学

本課題は物理化学実験で見られる「active matter」に対する現象の数理モデリングとそれに付随する数理科学研究を目標としている。この研究では現象を記述するための数理モデリングを行い、数理モデルに対して計算機援用解析から解構造を調べ、目的とする運動の出現機構を明らかにすることを目標としている。さらに、数学解析の側面としてのこの研究は、「co-dimension 1」の界面(図1を参照)を表現するための数理構造の構築に着目している。これは水面での自己駆動ひも運動を記述するために必要な研究となっている。また、数理モデリングではこの数理構造を実現する計算手法と有限要素法のアルゴリズム開発を目標とし研究を進めている。さらに、それらを用いた化学実験のシミュレーションを行い、計算結果を通して実際の現象と比較も設定する。これにより数学の理論、計算の技術、そして対象となる化学実験の現象の発展を学際的に導き出すことを目標としている。

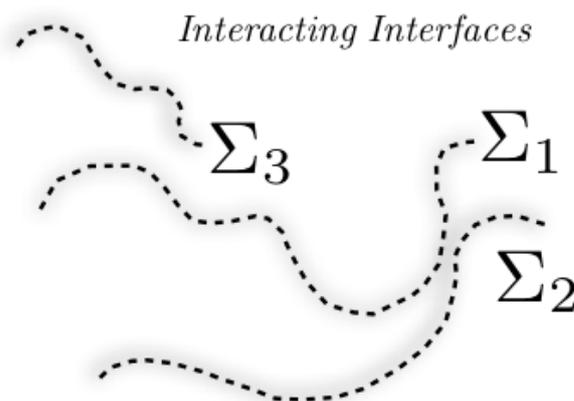


図1 Interfacial Active Matter

(3) 動物の適応的な振る舞いの構成論的理解

時事刻々と変化する予測不可能な環境の中で私たち全ての動物は生活している。そのような無限定環境の中でも動物は、状況に応じた運動や行動をとっている。一方、既存の人工物（ロボット）に動物のような適応的な振る舞いを実装することは未だに至難の技である。私たちがよく目にする産業用のロボット、は迅速でしなやかな動作をしているが、限られた環境に設置し限られた動作をだけを実行する時にだけうまく動作するのであって、ロボットを無限定な環境下に持ち出せばたちまち止まってしまう。ロボットは、周りの環境を観測し、観測結果に応じて動作出力を決めているため、計測限界を超えた環境下では動作できない。既知の環境の中でしか人工物を制御する方法しか持ち合わせていない我々にとって、このようなフレーム問題に対処するには何らかの手本が必要であり、それが生物である。動物は、フレーム問題に囚われることなく、環境の変化や刻々と変わる状況に応じて適応的な運動や行動発現を実時

間で実現している。我々は、この様な適応的な運動や行動の基盤となる身体や脳のメカニズムを理解し、更にそこから新奇な制御論の確立を目標としている。

(4) 嗅覚および聴覚情報処理アルゴリズムの解析

① 5感の中で嗅覚の処理様式の研究は最も遅れている。とりわけ、絶え間なく変化する匂いの分布や匂いを運ぶ風の方向や強度についての情報を動物が匂い源定位にどのように利用しているのかについては全くわかっていない。資源探索に嗅覚を用いる夜行性の昆虫（ゴキブリ）をモデルとし、この問題を解き明かすことを目標とする。また、ゴキブリの二次嗅覚中枢であるキノコ体を広く支配し、匂い情報の識別や学習に寄与する巨大抑制性神経の具体的な機能についても電気生理学的手法を用いて明らかにする。

② 聴覚情報処理の初期過程において、個々の感覚細胞がどのような仕組みで周波数弁別を実現しているのかについては不明な点が多い。交尾相手の発見に聴覚を利用するコオロギの耳をモデルとして、周波数弁別を可能にする形態学的な基盤を前肢にある鼓膜器官の形態形成、および三次元立体構築により明らかにすることを目標とする。

2. 研究成果

(1) 表皮構造の数理解析

2015年度は、真皮形状変形を伴う表皮構造モデルの構築を行った。真皮形状は弾性体と仮定して離断弾性体モデルを構築した。この数値計算から、真皮が変形したときに表皮幹細胞は真皮の凸部分の頂点近くにある結果が得られた。この結果から分裂能の高い細胞（基底膜と強く接着している細胞）は真皮乳頭層の頂点近くにあることが示唆された。また、異常細胞分裂、異常分化を起こすと、数理モデルからは真皮が凹んで、角層が表皮部分に侵攻する「鶏眼」の再現に成功した。さらに、分裂速度だけが速い場合には、乾癬に見られる表皮が正常表皮よりも分厚くなる現象が数値計算から得られた。

真皮乳頭層の凹凸に対して角層は比較的フラットに保たれていることが知られているが、その要因を示すために連続モデルを構築し、その解析を行った。その結果、細胞外Ca²⁺濃度変化に依存して分化が進む割合よりも、細胞内Ca²⁺濃度変化に依存して分化が進む割合が高いことが重要であることがわかった。この結果を真皮変形を伴う表皮構造モデルに適用すると細胞内Ca²⁺濃度変化による分化の割合を高くした場合に、真皮の変形に比べ、角層がフラットに保たれることがわかった。

2016年度は、真皮形状変形を伴う表皮構造モデルを用いて病態再現にむけた基礎的な数値計算を進めた。まず1つの表皮幹細胞から生まれた細胞が分化時に異常分化（通常の細胞より分化が早い）を起こすと仮定して数値計算を行うと、真皮が凹んで、角層が表皮部分に侵攻する現象がみ

られた。この病態は「鶏眼」に対応すると考えられる。また、1つの表皮幹細胞の細胞周期が早くなる（異常細胞分裂）と仮定し、その細胞から生まれた娘幹細胞もやはり異常細胞分裂を起こすと仮定して数値計算を行うと、その部分の真皮は凹んでいき、表皮全体が厚くなる現象が確認された。この病態はBowen病と呼ばれる皮膚がん（基底細胞がん）になる前に発症する病態に類似していることがわかった。そして、一つの表皮幹細胞から分裂する細胞が基底膜を分解し、基底膜から離れても分裂し続けると仮定した数値計算を行うと、表皮細胞群が真皮内部に侵入する現象が見られ、表皮細胞のがん化の基礎的な数値シミュレーションに成功した。

さらに、表皮細胞の形状を3次元ボロノイ分割することで表現し、各細胞の形状を調べた結果、顆粒層細胞は14面体が一番多いことがわかった。この結果は最近の皮膚科学研究の中で報告されているタイトジャンクションバリア機能の恒常性を維持するための表皮細胞形状仮説を指示する結果であり、皮膚科学者との連携研究のさらなる進展を見込めることができる結果である。

2017年度は、バリア機能のひとつであるタイトジャンクションバリア機能を記述するために、顆粒層形成の数理モデリングを行った。その結果、表皮が角層-顆粒層-有棘層と層構造をなすためには、角層直下からの何らかのシグナル伝達があれば層構造を形成できることがわかった。また、顆粒細胞のある分化度でTJを発現すると仮定した場合、TJの恒常性維持機能がある程度成立していることがわかった。

さらに、角化症の病態再現性を高める目的と皮膚の老化現象の再現を目指して、角質細胞の接着と剥離に関する数理モデリングを行った。細胞接着分解酵素と酵素の分解抑制物質の2変数モデルを構築した。このモデルは今後の病態再現モデルに導入する。

最後に、皮膚感覚機構を理解するためのFishbone 錯触覚の数理モデリングを行った。このモデルはマイスナー小体の圧力センサーモデルに粘弾性体モデル、Hodgkin-Huxleyモデルを結合した数理モデルとなっている。この研究で、神経発火頻度比を定義することによって、Fishbone 錯触覚が起こる要因を示唆した。このモデルから得られた示唆を物理心理学実験によって実証した。この結果から、サーストンの一対比較法で得られた結果心理学実験結果と数理モデリングから得られた結果が定性的に一致することがわかった。この結果からFishbone 錯触覚の生じる要因が感覚神経の発火頻度で理解できることを示唆した。

- 1) Y. Kobayashi, H. Kitahata and M. Nagayama, "Sustained dynamics of a locally excitable system with nonlocal interactions", *Physical Review E* 96, 022213(2017)
- 2) M. Watanabe, K. Natsuga, W. Nishie, Y. Kobayashi, G. Donati, S. Suzuki, Y. Fujimura, T. Tsukiyama, H. Ujiie, S. Shinkuma, H. Nakamura, M. Murakami, M. Ozaki,

- M. Nagayama, F. M Watt, H. Shimizu, "Type XVII collagen coordinates proliferation in the interfollicular epidermis", *eLife*, 6, e26635(2017)
- 3) J. Kumamoto, M. Goto, M. Nagayama and M. Denda, "Real-time imaging of human epidermal calcium dynamics in response to point laser stimulation", *Journal of Dermatological Science*, 86(1):13-20(2017)
 - 4) J. Kumamoto, M. Goto, M. Nagayama and M. Denda, "Real-time imaging of human epidermal calcium dynamics in response to point laser stimulation", *Journal of Dermatological Science*, (2017)
 - 5) Y. Kobayashi, Y. Sawabu, H. Kitahata, M. Denda, M. Nagayama, "Mathematical model for calcium-assisted epidermal homeostasis", *Journal of Theoretical Biology*, 397(21), 52-60(2016)
 - 6) K. Takei, S. Denda, M. Nagayama, M. Denda, "Role of STIM1-Orai1 system in intracellular calcium elevation induced by ATP in cultured human keratinocytes", *Exp Dermatol* (2016)
 - 7) J. Kumamoto, M. Tsutsumi, M. Goto, M. Nagayama and M. Denda, "Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica*) pollen allergen induces elevation of intracellular calcium in human keratinocytes and impairs epidermal barrier function of human skin ex vivo", *Arch Dermatol Res*, (2015)
 - 8) Y. Kobayashi, H. Kitahata, and M. Nagayama, "Model for calcium-mediated reduction of structural fluctuations in epidermis", *Physical Review E* 92, 022709(2015)
 - 9) Y. Kobayashi, Y. Sawabu, S. Ota and M. Nagayama, "Mathematical model for epidermal homeostasis", *Mathematical Progress in Expressive Image Synthesis II: Proceedings of the Symposium 2014*, *Mathematics for Industry* 18(H. Ochiai, K. Anjyo Eds.), 119-124(2015), Springer
 - 10) Y. Kobayashi and M. Nagayama, "Mathematical model of epidermal structure", *Applications + Practical Conceptualization + Mathematics = fruitful Innovation: Proceedings of the Forum of Mathematics for Industry 2014*, *Mathematics for Industry* 11(R.S. Anderssen et al. Eds.), 121-126(2015), Springer
 - 11) J. Kumamoto, H. Kitahata, M. Goto, M. Nagayama and M. Denda, "Effects of medium flow on axon growth with or without nerve growth factor", *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 465(1), 26-29(2015)
 - 12) M. Tsutsumi, H. Kitahata, M. Fukuda, J. Kumamoto, M. Goto, S. Denda, K. Yamasaki, S. Aiba, M. Nagayama and M. Denda, "Numerical and comparative three-dimensional structural analysis of peripheral nerve fibers in epidermis of atopic dermatitis patients", *British Journal of Dermatology*, (2015)
 - 13) M. Tsutsumi, M. Fukuda, J. Kumamoto, M. Goto, S.

Denda, K. Yamasaki, S. Aiba, M. Nagayama and M. Denda, "Abnormal Morphology of Blood Vessels in Erythematous Skin From Atopic Dermatitis Patients", *The American journal of dermatopathology*, (2015)

(2) 細胞極性の数理解析および形態形成に関する諸問題

2015年度は、秋田大学の山崎正和氏と共に、平面内細胞極性に関する数理解析を行った。上皮組織内の細胞の多くは、細胞の頂部-基部軸と直交する組織平面の特定の軸に沿った極性を獲得する。これは平面内細胞極性 (planar cell polarity, PCP) と呼ばれ、ほとんどの多細胞生物において見られる一般的な現象である。例えば、人の内耳にある有毛細胞はその細胞一つ一つに多数の毛があり、それらが平面上に規則正しく並ぶことで「音を聞く」という機能を生み出していることが知られている。他にも、魚類の鱗、哺乳動物の体毛、鳥類の羽などの細胞でも、細胞極性を持つことにより全体としてのマクロな形態形成がなされている。近年、PCP は分子生物学的な研究が進み、詳細な分子機構がわかりつつある一方、そのようなミクロな情報をいかに統合しマクロな現象である PCP を理解するかという大きな問題が残されている。

この問題に対して、本年度は数理モデルの構築及びその数理解析を行った。すでに、現象を再現する数理モデルの基盤は構築しているため、得られた数理モデルから本現象の普遍性を抜き出すために、昨年度に引き続き数学解析を行っている。数理モデルは4変数モデルとそれを縮約した1変数モデルからなる。すでに1変数モデルの1次元上における解析では、適切な境界条件を設定することで、回転解が安定になることを証明した。しかしながら、平面内細胞極性は2次元における現象であるため、本解析だけでは不十分である。そこで、本年度は1変数モデルの2次元系における数学解析に重点をおいて研究を行った。解析は細胞数を徐々に増やしながらか解の構成し、その安定性を計算機による固有値解析で評価するという方法である。その結果、細胞数の増加に伴って、系の最大固有値が正数の範囲で小さくなるというものであった。これは本系がvery slow系であることを示唆する重要な結果である。その一方で系が本当にvery slow系であるならば、計算機による方法では最大固有値の計算限界をすぐを超えてしまうため、この手法だけでは危険である。そこで、無限多倍長システムをもつ計算機ソフトにおいて、本問題を再解析した。その結果、1000桁という非常に大きい桁数における解析において、ある細胞数より大きな細胞数では、最大固有値が負数となることがわかった。このことから本系は安定なモードをもつ系であることが、非常に高い確度でわかった。

2016年度は形態形成に関する幾つかの問題に関して基礎的な研究を行った。形態形成を研究する上で、形を数学的な方法で表現する方法を持つことは非常に重要である。形状を数学的な方法を用いて定式化することで、形の適量的な評価を行うことができるだけでなく、コンピュータ・

シミュレーションなどの方法を用いることができ、形作りの原理を明らかにすることができる。しかし、領域の形状が前もってわからない状態で、領域内の変数を解くことは自由境界問題となり非常に難しい。一方、生物はこの問題を何らかのメカニズムによりうまく解決している。それでは生物はどのようにこの問題を解きそして堅牢性を持たせているのであろうか。この方法がわかれば、形の数学的な記述法を確立でき、さらにその妥当性を検証できるに違いない。そこで、今年度は幾つかの生物現象に関して、3次元形態を表現する数学的方法論を見つけることに重点をおいて研究調査を行った。

松野氏とのショウジョウバエ腸管に関する共同研究では、バーテックスダイナミクスモデルを用いシミュレーションを行い、幾つかの腸管捻転のシナリオを提案した。

近藤氏のカブトムシに関する共同研究では、観察実験より、蛹期に将来角になる部分では、多数の皺（しわ）を見ることができた。成虫の角は2回の分岐があり、合計4箇所の突起構造があるが、この構造は、蛹期のシワにもその痕跡をみることができた。生物組織のほとんどが細胞シートの折り畳みとしてできることから、2Dから3Dが出来上がっていく様子を折り紙のアナロジーを使う事で、空間トポロジーの数学として表現できると考えた。そこで、シート状の組織を表現するためのモデルに関して、研究を行った。

船山氏との共同研究でカイメンの形態形成に関して、フェーズフィールド法を用いた数理モデルを構築した。

2017年度は山崎氏との平面内細胞極性に関する問題の数理的研究を重点的に行なった。現在までに我々の構築した数理モデルにより、実際の翅毛パターンを忠実に再現することができた。逆に、数理モデルから翅毛パターンが阻害される条件を予測し、実際のハエに対し実験を行った結果、数理モデルによって導出された結果と一致し、数理的に予測された結果が実験によって正しいと裏付けられたこととなった。2005年、K. Amonlirdviman氏等は雑誌ScienceにPCPに関する数理モデルを発表しているが、着目する分子数が非常に多いために式の数は10を超えており、さらにそれらの数式には未知のパラメータが非常に多く含まれている。このため、数学的な解析が非常に困難であるばかりでなく、「何がPCPにとって最も重要な機構なのか」という本質的な問に答えることができていない。今年度はK. Amonlirdviman氏等の提案した数理モデルに関して、重点的に研究を行った。彼らのモデルはDsh、Pk、Fz、StbmなどのPCPのコア蛋白とその複合体に着目して構築された数理モデルであり、10変数以上の反応拡散方程式系となっている。また、式中のパラメータに関しては、直接の値は記載されておらず、大まかな範囲として記載されている。さらに式の中で使用されている拡散に関する作用素も、通常とは異なる意味で用いられていることが判明した。また、数値計算の離散化では、正三角形を用いた有限要素的なメッシュ分割が行われているが、メッシュ数は固定値で非常

に少ない要素数であり、現実的な拡散を表現するために適切ではないと考えられた。以上のことから、直接的に手計算で解析を適用することはほぼ不可能であると断定した。

そこで、彼らのモデルを今後、解析的に取り扱うためには、

(1) 適切なメッシュの作成、(2) パラメータ同定、が必須であるとの結論を得た。そこで、(1)では、要素数可変のメッシュ生成アルゴリズムを構築した。一方(2)に関しては、パラメータ同定のための適切な条件を定める必要がある。実際の実験系では、コア蛋白が正常に機能する場合は、単一細胞でも極性の形成が行われるため、「Fz、Stbmが局在パターンを作る」という条件を課した。この条件のもと、40程度パラメータ空間を探索したが、Fz Stbmの局在パターンを得ることができなかった。パラメータの探索アルゴリズムが不相当であった可能性を否定できないものの、少なくとも文献値に記載されたパラメータ範囲では計算結果を再現することができなかった。さらに、力場環境とカップルさせた新しい数理モデルを構築することができた。

- 1) M. Akiyama, T. Sushida, S. Ishida, H. Haga, A Mathematical model of collective cell migrations based on cell polarity. *Develop. Growth Differ.* (2017)
- 2) Keisuke Matsuda, Hiroki Gotoh, Yuki Tajika, Takamichi Sushida, Hitoshi Aonuma, Teruyuki Niimi, Masakazu Akiyama, Yasuhiro Inoue, Shigeru Kondo, Complex furrows in a 2D epithelial sheet code the 3D structure of a beetle horn. *Scientific Reports* 7, Article number: 13939 (2017)

(3) 自己駆動運動モデルの数理解析

2015年度は、化学反応を伴う液滴運動を記述する数理モデルを膜弾性体の方程式に体積保存条件を加えた形で構築した。この数理モデルは液滴の分裂や融合再現できる点で、他の数理モデルにはない利点を持っている。この数理モデルを用いてペンタノール液滴の変形を伴う並進運動、分裂現象、反射現象、融合現象の再現に成功した。また、この数理モデルはエネルギーフォームで書かれているため、その数値計算に離散勾配流法を用いた。

2016年度は、中田聡教授(広島大学)らと共同研究で、化学反応を伴う液滴の自励振動運動の数理モデル化を行った。細長い水路上で境界の影響を受けることなく往復振動する現象の理論的理解に向けて研究を進めた。この運動はバルク中のSTAC濃度に依存して変化することがわかっていたが、我々は化学反応系と運動をカップルさせた数理モデルを構築し現象の再現に成功した。そして停止解からのHopf分岐によってこの運動が生じることが数理モデルからわかった。さらに、水面上で動く界面活性剤フィラメント(Cemidine-c strings)を実験により発見した(図2を参照)。この現象のモデリングを行なった結果、モデル方程式の弱形式でデルタ関数(line masses)を用いると自然的にco-dimension 1の界面を表現することができることが分かった。また、モデル方程式の定常解および進行解の存在を解析的に証明することに成功した。さらに、構築した

モデル方程式の弱形式を数値的に解く近似解法を用いた結果、定常解と進行解の存在を数値的にも確認することができた。

2017年度は、樟脳円版の集団運動に見られるクラスター運動に対する数理解析を行った。これまでは計算機援用解析で樟脳運動の解の存在と安定性を示していたが、今年度は、解析的に樟脳運動に関する存在証明を行った。樟脳円版、樟脳船に関する存在証明、および2つの樟脳円版がつくるクラスター運動解の存在証明を与えることができた。特に、クラスター運動解の存在証明の中で、単調減少下に凸の表面張力関数と線形に単調減少な表面張力関数では、クラスター解の非存在が証明できた。この結果は、表面張力関数を与える指針を示しており、数理モデル構築の視点からも非常に有益な定理となっている。

さらに、樟脳円版の集団運動を数理科学的視点から理解するために、数理モデルの大域的分岐構造を計算する数値分岐計算プログラムを作成した。この数値計算ソフトを用いて2個の樟脳円版モデルの分岐解析を行った。その結果、不安定解であるが対称回転振動運動する解や、不安定な対称振動解等を見つけることができた。また、横毛管力の影響を調べるために、横毛管力項を加えた集団運動モデルについても解構造を求めた。その結果、横毛管力によって生じるクラスター運動解と横毛管力に関係ない自発的なクラスター運動解の共存が示唆された。

- 1) S.-I. Ei, H. Kitahata, Y. Koyano and M. Nagayama, "Interaction of non-radially symmetric camphor particles", 368(1), 10-26(2018)
- 2) E. Ginder, T. Minomo, M. Nagayama, S. Nakata and H. Yamamoto, "Traveling pulse solutions in a point mass model of diffusing particles", Computer Methods in Materials Science, 17(2), 111-121(2017)
- 3) Y. Satoh, Y. Sogabe, K. Kayahara, S. Tanaka, M. Nagayama and S. Nakata, "Self-inverted reciprocation of an oil droplet on a surfactant solution", Soft Matter 13, 3422-3430(2017)
- 4) E. Ginder, T. Minomo, M. Nagayama, S. Nakata, H. Yamamoto "Traveling pulse solutions in a point mass model of diffusing particles" Computer Methods in Materials Science, 17, 2017
- 5) K. Nagai, K. Tachibana, Y. Tobe, M. Kazama, H. Kitahata, S. Omata and M. Nagayama, "Mathematical model for self-propelled droplets driven by interfacial tension, to appear in Journal of Chemical Physics, 144, 114707 (2016)
- 6) K. Nishi, T. Ueda, M. Yoshii, Y. S. Ikura, H. Nishimori, S. Nakata and M. Nagayama, "Bifurcation phenomena of two self-propelled camphor disks on an annular field depending on system length", Phys.Rev.E 92(2015), 022910

- 7) S.-I. Ei, K. Ikeda, M. Nagayama and A. Tomoeda, "Reduced model from a reaction-diffusion system of collective motion of camphor boats", Discrete and Continuous Dynamical Systems Series-S, 8(5), 847-856(2015)
- 8) S. Nakata, M. Nagayama, H. Kitahata, N. J. Suematsu and T. Hasegawa, "Physicochemical design and analysis of self-propelled objects that are characteristically sensitive to interfacial environments, Physical Chemistry Chemical Physics, 7, 10326-10338(2015)

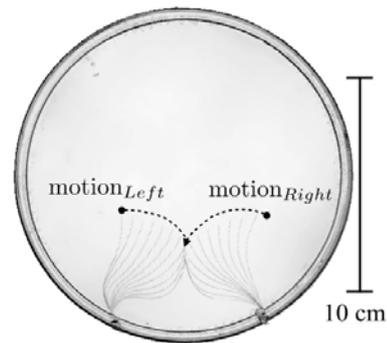


図2 Motion of Cemedine-c filaments

(4) 適応的な行動発現の制御構造とその設計原理

動的に変化する環境のなかで適応的に行動を実時間で切り替える動物の脳神経系の働きを理解するためには、個体を取り巻く環境、身体、神経系のいずれかを任意に操作することで、適応的な運動や行動の基盤となる制御機構をあぶり出すことができる。今年、昆虫、多足類、クモヒトデなど神経系の構造が比較的単純な無脊椎動物を使い、適応的な運動や行動をつくりだす制御構造とその設計について運動生理学実験やX線マイクロイメージングなどの方法を使い調べた。

クロココロギ、クロヤマアリなどを実験材料として使い、動物に普遍的にみられる攻撃行動が個体を取り巻く環境や他者が存在する社会環境の変化に応じて変容するメカニズムを研究した。これらの研究では、攻撃行動の動機付けにかかわる脳内の神経修飾物質の働きについて調べ、その結果をもとに、個体が社会環境の変化に応じて行動を変容させる神経生理機構の動的システムモデルを構築し、シミュレーション実験やロボット実装実験から、個体間相互作用と脳神経系に内在する多重フィードバック構造が社会環境における行動の実時間適応には重要であることが明らかになった。

棘皮動物のクモヒトデ、多足類のムカデ、昆虫を実験材料として、動物に普遍的にみられる適応的なロコモーションの発現メカニズムについて研究した。適応的なロコモーションの発現には、身体と場との相互作用によって生み出される機能を理解することが重要である。場と直接的に相

相互作用する身体の筋骨格系の3次元構造を理解するため、X線マイクロCTを用いた身体が無破壊観察を取り入れた(図3)。得られた3次元構造をもとにロボットを設計し、実際の生物の制御機構を調べるプラットフォームの開発を進めている。

- 1) H., Shimoji, H. Aonuma, T. Miura, K. Tsuji, K. Sasaki, and Y. Okada (2017) Queen contact and among-worker interactions dually suppress worker brain dopamine as a potential regulator of reproduction in an ant. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 71:35.
- 2) Y. Ishikawa, H. Aonuma, K. Sasaki, and T. Miura. (2016) Tyraminerpic and octopaminergic modulation of defensive behaviour in termite soldier. *PLoS ONE*. 11(5): e0154230.
- 3) C. Shiratori, N. Suzuki, Y. Momohara, K. Shiraishi, H. Aonuma, and T. Nagayama (2017) Cyclic AMP-regulated opposing and parallel effects of serotonin and dopamine on phototaxis in the Marmorkrebs (marbled crayfish). *Europ. J. Neurosci.* 46: 1863-1874. doi: 10.1111/ejn.13632.
- 4) N. DiRienzo, and H. Aonuma (2017) Individual differences are consistent across changes in mating status and mediated by biogenic amines. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 71: 118. doi: 10.1007/s00265-017-2345-x.
- 5) T. Kano, E. Sato, T. Ono, H. Aonuma, Y. Matsuzaka and A. Ishiguro (2017) A brittle star-like robot capable of immediately adapting to unexpected physical damage. *Royal Soc. Open Sci.* 4: 171200. doi: 10.1098/rsos.171200.
- 6) K. Matsuda K, H. Gotoh, Y. Tajika, T. Sushida, H. Aonuma, T. Niimi, M. Akiyama, Y. Inoue and S. Kondo (2017) Complex furrows in a 2D epithelial sheet code the 3D structure of a beetle horn. *Sci. Rep.* 7: 13939. doi:10.1038/s41598-017-14170-w.
- 7) Y. Matsuzaka, E. Sato, T. Kano, H. Aonuma and A. Ishiguro (2017) Non-centralized and functionally localized nervous system of ophiuroids: evidence from topical anesthetic experiments. *Biology Open.* 6: 425-438.



図3: X線マイクロCTで撮像した動物(クモヒトデ)の筋骨格の3Dデジタルデータから3Dプリンターで3次元モデルとして再構築した。

- (5) 昆虫が超高速運動を生み出すカラクリ
動物にとって素早い運動は、脅威から逃れたり獲物を捕

獲するなど重要な要素である。動物は、ダイナミックに変化する周囲の環境を刺激に応じた感覚器を使って受容し、状況に応じて感覚情報を抽出し、運動や行動を制御する。素早い運動を作り出すためには、感覚信号を受容してから感覚情報処理、運動制御信号の生成、運動出力にかかる時間を短くする働きが重要となる。神経系には、信号を早く伝える仕組みはあるものの、その伝搬には限界がある。ところが、昆虫には神経細胞を伝わる信号の伝搬速度や筋収縮の速度を超えた素早い動きを作り出すことができる。

昆虫のアギトアリ属はハリアリの仲間で、長く内側に突起がある大きな顎を素早く閉じることで獲物を捕らえる。その時に大顎を閉じる速度は時速230Kmを超える。この速度は、動物が生み出す動きとして世界最速とも言われている。大顎の内側には、獲物の接近を検出する長い機械感覚毛が生えている(図4)。この機械受容器で捉えた獲物の情報は、感覚細胞から大顎の運動神経に直接接続し、内転筋を動かして大顎を閉じる。この内転筋は、遅筋から構成されている筋肉であり、超高速の筋収縮は起こせない。このアリが超高速運動を生み出すには、骨格の弾性変形を利用した飛び移り座屈によると考えられる。X線マイクロCTを用いて、非破壊の状態でのアギトアリの頭部の筋骨格系の3次元構造を詳細に観察した。その結果、アギトアリの顎関節は、ラッチを持つボールジョイントの構造をしていることがわかった。また、高速度カメラを使い、アギトアリが高速で顎を閉じる場所を観察したところ、顎を高速で閉じる直前に頭部の骨格が弾性変形することがわかった。このような、昆虫に限られた神経系や筋骨格系を最大限に生かして超高速運動を生み出す仕組みを理解することで、遅い速度しか出せないアクチュエーターを使って、高速かつ高出力の運動を生み出す新たな制御論を構築することが期待できる。

- 1) H. Aonuma, K. Osuka and K. Ohkawara (2017) Mechanisms of ultra-high speed movement in the trap jaw ant, 56th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), DOI: 10.23919/SICE.2017.8105578

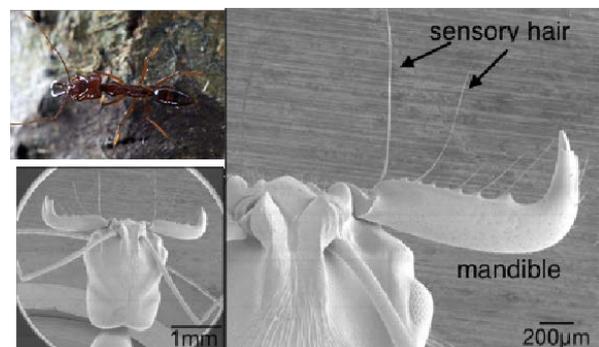


図4: アギトアリの顎。内側には長い機械感覚毛は生え、獲物に接触すると顎が高速で閉じる。

(6) 音の周波数弁別の神経基盤

コオロギの前肢にある鼓膜器官の非侵襲的な内部構造観察により、音受容細胞がリンパ液様の流体に満たされた状態で存在し、この流体を包む袋の一部が肥厚したキチン質の板と接触していることを発見した。この板は鼓膜に入射した音をしてこの作用に変換する機能を持ち、流体の移動を生み出すことが示唆された。また、このキチン質の板は成虫脱皮直後におこる上皮細胞の陥入・キチン質分泌により自己組織化的に形成されることも発見した。

以上、コオロギの音の周波数弁別は、1. 鼓膜での音検出、2. 気管による音圧増幅、3. 周波数依存的に生じる流体の移動、からなり、哺乳類の蝸牛での周波数弁別のしくみと類似していることが明らかとなった。

- 1) 西野浩史、渡邊英博、“振動・聴覚受容器のかたちとはたらき”、昆虫と自然、669(10): 4-8 (2015).
- 2) H. Nishino, H. Mukai and T. Takanashi, “Chordotonal organs in hemipteran insects: unique peripheral structures but conserved central organization revealed by comparative neuroanatomy”, Cell and Tissue Research, 366: 549-572 (2016)

(7) 嗅覚情報処理アルゴリズムの解析

昆虫の脳内には哺乳類の海馬や大脳皮質に相当するキノコ体と呼ばれる高次中枢がある。キノコ体は数十万個の神経細胞からなる機能モジュールを形成するが、この活動状態がわずか4本のGABA作動性の巨大神経によって協調的かつ抑制的に調節されることを発見した (Takahashi et al., 2016, 図5)。また、防除の観点にもとづいた嗅覚情報処理の研究からはゴキブリの雌同士を一緒に飼育すると単独飼育よりも単為生殖が促進されること、また、この促進には他個体の匂いや機械的接触の検出が重要であることが明らかとなった (Katoh et al. 2017)。

- 1) N. Takahashi, K. Katoh, H. Watanabe, Y. Nakayama, M. Iwasaki, M. Mizunami and H. Nishino, “Complete identification of four giant interneurons supplying mushroom body calyces in the cockroach *Periplaneta americana*”, J. Comp. Neurol., 525: 204-230 (2017)
- 2) K. Katoh, M. Iwasaki, S. Hosono, A. Yoritsune, M. Ochiai, M. Mizunami and H. Nishino, “Group-housed females promote production of asexual ootheca in American cockroaches”, Zool. Lett, 3(3): 1-9 (2017)

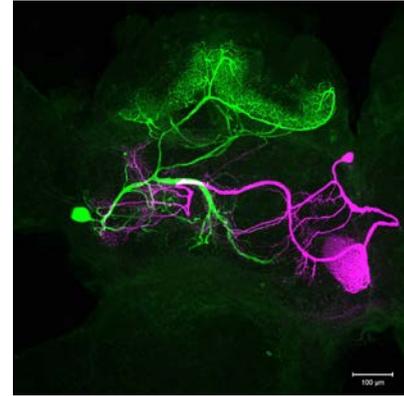


図5: キノコ体の入力部位を広く支配する抑制性巨大ニューロンとそのシナプス前ニューロン。

(8) 匂い空間分布情報処理についての研究

匂いは定まった形をとらず、その空間分布は時々刻々に変化する。そのため、動物は匂いの位置情報を検出する手段を持たないとみなされてきた。事実、同じ匂い受容体を発現する感覚細胞群の軸索は一次嗅覚中枢内の1個の糸球体に収束し、文字通り毛糸玉のような構造を形成する。西野らはワモンゴキブリの長い触角(5 cm)全域に分布している嗅覚細胞の軸索が触角内での基部～先端での細胞体の位置によって糸球体内で層状に組織化されていること、この投射パターンがゴキブリの幼虫期の脱皮を通じて徐々に形成されることを動物で初めて発見した。さらに細胞内記録・染色法により、大糸球体から出力する11本の介在ニューロンの各々が触角の基部～先端の特定領域の刺激に応じること、嗅覚細胞の投射領域と介在ニューロンの樹状突起が糸球体内に占める領域の間に明瞭な相関が存在することを明らかにした(図6)。本研究は動物の匂いの空間分布処理を理解する上で最適のモデルシステムを提供するものである。

- 1) H. Nishino, M. Iwasaki, M. Paoli, I. Kamimura, Y. Atsushi and M. Mizunami, “Spatial receptive fields for odor localization”, Curr. Biol., 28: 600-608 (2018).

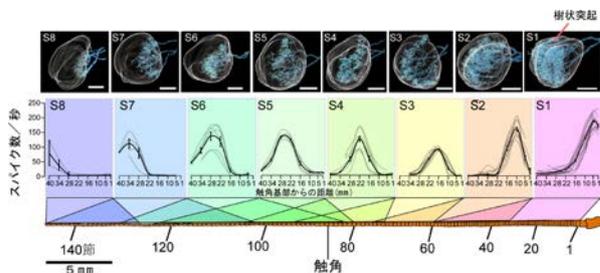


図6: 触角基部～末梢の特定領域に受容野を持つ介在ニューロンの樹状突起

(9) 動く界面の数理解析

フォノンニック結晶における多相形状最適化

平成27年度は、PnCを数理的に表現するためのフレームワークを作成することを進めた。これまでの研究により、本研究の signed distance vector field (SDVF) により、多相領域の形状を指定することが出来ると分かった。これはPnCのシミュレーションを行うための基盤であるので3次元SDVFを計算上で作成することができた。

3. 今後の研究の展望

(1) 表皮構造の数理解析

今後は、最初に TJ バリア機能の恒常性が完全に維持するようなメカニズムを数理解析から明らかにしていきたい。そのための角層直下での何らかのシグナル伝達について実験グループと議論することで解決していく。この問題と深く密接に関わっている問題として細胞形状がある。細胞形状が14面体であればTJバリア機能の恒常的維持は保たれることが実験系から示唆されており、細胞形状を3次元ボロノイ分割で定義し、14面体が多くなる要因を数理解析と数値シミュレーションから与えたい。

さらに、これまでに引き続き、皮膚疾患の中で角化症に焦点を合わせ、臨床皮膚科医との共同研究によって病態再現を行いたい。発症要因が知られている疾患に関して、発症要因と病態の関係を明らかにする(KID症候群)。このために必要なモデリング要素があれば、随時組み込む予定である。この研究が成功裏に進めば、発症要因の不明な皮膚疾患(例えば、乾癬)について、仮説に基づいて病態を再現することから、発症要因を示唆することができる。この結果を臨床皮膚科医にフィードバックすることで、発症要因因子を見つけ出すことを目指す。この手法が成功すれば、病態改善の手段として数理解析的手法が使えることができる。この研究は今後の重要な課題となっている。

(2) 細胞極性の数理解析および形態形成に関する諸問題

細胞極性の数理解析では、K. Amonlirdviman 氏らの数理解析モデルに関して、予備的に以下のような数学的な考察を行った。

(考察1): 初期の D_{sh} , P_k , F_z , S_{tm} は正数であるが、その他の蛋白量は0である。

(考察2): 少なくとも F_z に関して、初期の最大濃度よりも終状態の最大濃度の方が高い。

(考察3): 考察1と考察2を両方満足するためには、(3)拡散係数が位置に依存する。または(4)移流拡散型方程式でないとならない。しかしながら、(3)に関しては論文では記載がなく、(4)はそもそも仮定されたモデル系ではない。

以上から、K. Amonlirdviman 氏等のモデルに関しては、論文に記載されていない方法論を用いて計算が行われている可能性が非常に高いことがわかった。K. Amonlirdviman 氏等のモデルを縮約することに関しては、パラメタの観点および考察から、論文に記載された結果を再現することが論理的に困難であることが判明した。そこで、今後は、縮約

することに捕らわれず、現在構築している4変数系を拡張することで、K. Amonlirdviman 氏等のモデルへ帰着できるかに関して研究を行いたい。具体的には F_z , S_{tm} の分子動態に着目した単一細胞の極性形成に関する偏微分方程式系に着目する。これらは K. Amonlirdviman 氏等以外の研究グループも提案しており、その数理解析結果が近年発表されつつある。そこで、これらのモデルを我々のPCP研究へ応用する方向を検討している。また、背中のPCP系では、組織全体の流れと毛の方向性に関係があることが実験により証明されつつあり、そのモデルを構築することができつつある。モデルでは、非圧縮性のStokes流を用いているため、FreeFEM++の計算専門家と研究打合せを行う予定である。形態形成に関する諸問題では、松野氏とのショウジョウバエ腸管に関する共同研究において腸管壁の細胞をバーテックスダイナミクスモデル用いて表現し腸捻転のメカニズムを検討している。細胞の体積は頂点の3次元位置ベクトルを引数とする汎関数とみなすことができるため、その汎関数微分を正確に求めることに成功している。この方法は、他のバーテックスダイナミクスユーザーにも共有すべく、方法論をまとめHPに公開しているが、論文としてもまとめる計画である。

(3) 集団運動モデルの数理解析

複数の樟脳円盤が円環水路でみせる集団運動の数理解析を進める。4つの樟脳円盤の集団運動では非対称クラスタ運動や振動運動が見られるため、これまでに構築した数理解析モデルを駆使して、現象の再現および分岐理論を用いた集団運動の出現機構の解明を行う。特に、今年度作成した分岐計算ソフトを用いて、大域的な解構造を調べていくことから出現機構を解明する。それと同時に、2次元円盤領域における樟脳円盤の集団運動の解明も行う。特に、複数の円盤を浮かべたときに生じる間欠的な振動運動の起こるメカニズムについて考察したい。さらに、液滴の集合離散運動の解明を行う。この運動は長時間に渡って集合と離散を繰り返す運動であり、これまで数理解析では説明できないことがわかっている。この現象は前半は表面張力変化による斥力を伴う運動が支配的となっているが、後半は表面張力の変化による運動よりも横毛管力を伴う引力の運動が支配的になっているように見える。今後はこれらの観察結果を踏まえた数理解析モデルの構築を行いたい。

(4) 身体と脳と環境の相互作用によって生まれる適応行動の解析

X線マイクロCTを使ったマイクロマイクロボリュームイメージングでは、空間分解能が $3\mu\text{m}$ 程度まで向上した。これにより、身体や神経系・筋骨格系などの詳細な3次元的な構造解析が可能になった。X線マイクロCTから得られた画像はグレースケールである。したがって、身体を構成する器官を詳細に再現するためには、それぞれの器官を識別して表示するセグメンテーションの作業が必要である。と

ころが、異なる器官が隣り合う境界面は、目視ではわかりやすいが、計算機に自動で処理させようと思うと非常に困難である。そこで、セグメンテーションの作業を半自動化し、より効率よく筋・骨格そして神経系をセグメンテーションする手法を開発している。

X線マイクロCTを使ったイメージングでは、観察対象には乾燥標本を用いるため、昆虫が実際に運動しているときに筋肉や骨格をどのように動かしているのかを観察することが困難である。そこで、マイクロCT内にトレッドミルを設置し、実験動物が運動しているときの筋肉や骨格の動きをライブで撮影することを目指す。また、Spring-8も利用して、昆虫が運動中の筋肉や骨格の動きを撮影し、筋収縮に伴う骨格の動きを解析する。これにより、限られた身体リソースしか利用できない昆虫が、神経細胞や骨格筋の性能を上回る運動機能を生み出すカラクリを明らかにす。

(5) 嗅覚情報処理における気流の役割

匂いはこれを運ぶ空気流がないと感知できない。したがって、正確な匂い源定位には気流情報と匂いの統合処理が不可欠である。夜行性昆虫の二次嗅覚ニューロンに着目することで、匂いを運ぶ気流速度やその変化によって活動がどのように修飾されるのかを明らかにする。

4. 資料

4.1 学術論文 (査読あり)

- 2) S.-I. Ei, H Kitahata, Y. Koyano and M. Nagayama, "Interaction of non-radially symmetric camphor particles", 368(1), 10-26(2018)
- 3) E. Ginder, T. Minomo, M. Nagayama, S. Nakata and H. Yamamoto, "Traveling pulse solutions in a point mass model of diffusing particles", Computer Methods in Materials Science, 17(2), 111-121(2017)
- 4) Y. Kobayashi, H. Kitahata and M. Nagayama, "Sustained dynamics of a locally excitable system with nonlocal interactions", Physical Review E 96, 022213(2017)
- 5) M. Watanabe, K. Natsuga, W. Nishie, Y. Kobayashi, G. Donati, S. Suzuki, Y. Fujimura, T. Tsukiyama, H. Ujiie, S. Shinkuma, H. Nakamura, M. Murakami, M. Ozaki, M. Nagayama, F. M Watt, H. Shimizu, "Type XVII collagen coordinates proliferation in the interfollicular epidermis", eLife, 6, e26635(2017)
- 6) J. Kumamoto, M. Goto, M. Nagayama and M. Denda, "Real-time imaging of human epidermal calcium dynamics in response to point laser stimulation", Journal of Dermatological Science, 86(1):13-20(2017)
- 7) Y. Satoh, Y. Sogabe, K. Kayahara, S. Tanaka, M. Nagayama and S. Nakata, "Self-inverted reciprocation of an oil droplet on a surfactant solution", Soft Matter 13, 3422-3430(2017)
- 8) J. Kumamoto, M. Goto, M. Nagayama and M. Denda, "Real-time imaging of human epidermal calcium dynamics in response to point laser stimulation", Journal of Dermatological Science, (2017)
- 9) E. Ginder, T. Minomo, M. Nagayama, S. Nakata, H. Yamamoto "Traveling pulse solutions in a point mass model of diffusing particles" Computer Methods in Materials Science, 17, 2017
- 10) M. Sato, T. Yasugi, Y. Minami, T. Miura and M. Nagayama, "Notch-mediated lateral inhibition regulates proneural wave propagation when combined with EGF-mediated reaction diffusion", PNAS 113, 35(2016)
- 11) K. Nagai, K. Tachibana, Y. Tobe, M. Kazama, H. Kitahata, S. Omata and M. Nagayama, "Mathematical model for self-propelled droplets driven by interfacial tension, to appear in Journal of Chemical Physics, 144, 114707 (2016)
- 12) Y. Kobayashi, Y. Sawabu, H. Kitahata, M. Denda, M. Nagayama, "Mathematical model for calcium-assisted epidermal homeostasis", Journal of Theoretical Biology, 397(21), 52-60(2016)
- 13) K. Takei, S. Denda, M. Nagayama, M. Denda, "Role of STIM1-Orai1 system in intracellular calcium elevation induced by ATP in cultured human keratinocytes", Exp Dermatol (2016)
- 14) J. Kumamoto, M. Tsutsumi, M. Goto, M. Nagayama and M. Denda, "Japanese Cedar (Cryptomeria japonica) pollen allergen induces elevation of intracellular calcium in human keratinocytes and impairs epidermal barrier function of human skin ex vivo", Arch Dermatol Res, (2015).
- 15) Y. Kobayashi, H. Kitahata, and M. Nagayama, "Model for calcium-mediated reduction of structural fluctuations in epidermis", Physical Review E 92, 022709(2015)
- 16) Y. Kobayashi, Y. Sawabu, S. Ota and M. Nagayama, "Mathematical model for epidermal homeostasis", Mathematical Progress in Expressive Image Synthesis II: Proceedings of the Symposium 2014,

- Mathematics for Industry 18(H. Ochiai, K. Anjyo Eds.) , 119-124(2015)、 Springer
- 17) Y. Kobayashi and M. Nagayama, "Mathematical model of epidermal structure", Applications + Practical Conceptualization + Mathematics = fruitful Innovation: Proceedings of the Forum of Mathematics for Industry 2014, Mathematics for Industry 11(R. S. Anderssen et al. Eds.), 121-126(2015)、 Springer
 - 18) T. Mori, K. Kuto, M. Nagayama, T. Tsujikawa, S. Yotsutani, "Global bifurcation sheet and diagrams of wave-pinning in a reaction-diffusion model for call plearization", Dynamical Systems, Differential Equations and Applications AIMS Proceedings, (2015)、 861-877
 - 19) J. Kumamoto, H. Kitahata, M. Goto, M. Nagayama and M. Denda, "Effects of medium flow on axon growth with or without nerve growth factor", Biochemical and Biophysical Research Communications, 465(1)、 26-29(2015)
 - 20) K. Nishi, T. Ueda, M. Yoshii, Y. S. Ikura, H. Nishimori, S. Nakata and M. Nagayama, "Bifurcation phenomena of two self-propelled camphor disks on an annular field depending on system length", Phys.Rev.E 92(2015)、 022910
 - 21) M. Tsutsumi, H. Kitahata, M. Fukuda, J. Kumamoto, M. Goto, S. Denda, K. Yamasaki, S. Aiba, M. Nagayama and M. Denda, "Numerical and comparative three-dimensional structural analysis of peripheral nerve fibers in epidermis of atopic dermatitis patients", British Journal of Dermatology, (2015)
 - 22) M. Tsutsumi, M. Fukuda, J. Kumamoto, M. Goto, S. Denda, K. Yamasaki, S. Aiba, M. Nagayama and M. Denda, "Abnormal Morphology of Blood Vessels in Erythematous Skin From Atopic Dermatitis Patients", The American journal of dermatopathology, (2015)
 - 23) S.-I. Ei, K. Ikeda, M. Nagayama and A. Tomoeda, "Reduced model from a reaction-diffusion system of collective motion of camphor boats", Discrete and Continuous Dynamical Systems Series-S, 8(5)、 847--856(2015)
 - 24) S. Nakata, M. Nagayama, H. Kitahata, N. J. Suematsu and T. Hasegawa, "Physicochemical design and analysis of self-propelled objects that are characteristically sensitive to interfacial environments, Physical Chemistry Chemical Physics, 7、 10326-10338(2015)
 - 25) H. Aonuma, Y. Totani, M. Kaneda, R. Nakamura, T. Watanabe, D. Hatakeyama, V.E. Dyakonovae, K. Lukowiak. and E. Ito, "Effects of 5-HT and insulin on learning and memory formation in food-deprived snail" *Neurobiol. Learn. Mem.*、 148: 20-29. (2018)
 - 26) H. Aonuma, Y. Totani, M. Kaneda, R. Nakamura, T. Watanabe, D. Hatakeyama, V.E. Dyakonovae, K. Lukowiak. and E. Ito, "Effects of 5-HT and insulin on learning and memory formation in food-deprived snail" *Neurobiol. Learn. Mem.*、 148: 20-29. (2018)
 - 27) H. Shimoji, H. Aonuma, T. Miura, K. Tuji, K. Sasaki and Y. Okada, Queen contact and among-worker interactions dually suppress worker brain dopamine as a potential regulator of reproduction in an ant. Behavioral Ecology and Sociobiology、 71(35) (2017)
 - 28) C. Shirator, N. Suzuki, Y. Momohara, K. Shiraiishi, H. Aonuma, and T. Nagayama "Cyclic AMP-regulated opposing and parallel effects of serotonin and dopamine on phototaxis in the Marmorckrebs (marbled crayfish)" *Europ. J. Neurosci.* 46: 1863-1874. doi: 10.1111/ejn.13632. (2017)
 - 29) T. Kano, E. Sato, T. Ono, H. Aonuma, Y. Matsuzaka and A. Ishiguro "A brittle star-like robot capable of immediately adapting to unexpected physical damage" *Royal Soc. Open Sci.* 4: 171200. doi: 10.1098/rsos.171200. (2017)
 - 30) N. DiRienzo and H. Aonuma "Individual differences are consistent across changes in mating status and mediated by biogenic amines" *Behav. Ecol. Sociobiol.* 71: 118. doi: 10.1007/s00265-017-2345-x. (2017)
 - 31) H. Aonuma, M. Kaneda, D. Hatakeyama, T. Watanabe, K. Lukowiak and E. Ito "Weak involvement of octopamine in aversive taste learning in a snail" *Neurobiol. Learn. Mem.* 141: 189-198. (2017)
 - 32) Y. Matsuzaka, E. Sato, T. Kano, H. Aonuma and A. Ishiguro "Non-centralized and functionally localized nervous system of ophiuroids: evidence from topical anesthetic experiments" *Biology Open.* 6: 425-438. (2017)
 - 33) K. Matsuda, H. Gotoh, Y. Tajika, T. Sushida, H. Aonuma, T. Niimi, M. Akiyama, Y. Inoue, S. Kondo, "Complex furrows in a 2D epithelial sheet code the 3D structure of a beetle horn"、 *Sci. Rep.*、 7、 13939 (2017).

- 34) H. Aonuma, M. Kaneda, D. Hatakeyama, T. Watanabe, K. Lukowiak and E. Ito, Relationship between the grades of a learned aversive-feeding response and the dopamine contents in *Lymnaea*. *Biology Open*, 5(12) : 1869-1873 (2016).
- 35) R. Matsuo, M. Tanaka, R. Fukuta, S. Kobayashi, H. Aonuma and Y. Matsuo, Octopaminergic system in the central nervous system of the terrestrial slug. *Journal of Comparative Neurology*, 524 : 3849-3864 (2016)
- 36) Y. Ishikawa, H. Aonuma, K. Sasaki and T. Miura, Tyraminerbic and octopaminergic modulation of defensive behaviour in termite soldier. *PLoS ONE*, 1(5) : e0154230- (2016).
- 37) Ohkawara, K. and Aonuma H. (2016) Changes in the levels of biogenic amines associated with aggressive behavior of queen in the social parasite ant *Vollenhovia nipponica*. *Insectes Sociaux*. doi:10.1007/s00040-016-0461-7. (published online first)
- 38) 高橋悟、奥田泰文、川端邦明、青沼仁志、佐藤雄隆、岩田健司 (2016) クロコログの行動解析に向けた動画像計測手法 (英語表題: Method of dynamic image measurement for analyzing of cricket behavior). *J. Signal Processing* 「信号処理」. 20 (2): 65-74.
- 39) H. Aonuma, M. Goda, S. Kuroda, T. Kano, D. Owaki and A. Ishiguro (2015) Cricket switches locomotion patterns from walking to swimming by evaluating reaction forces from the environment. *The 7th Int. Symp. on Adaptive Motion in Animals and Machines*.
- 40) P.L. Newland, M. al Ghamdi, S. Sharkh, H. Aonuma and C.W. Jackson (2015) Exposure to static electric fields leads to changes in biogenic amine levels in the brains of *Drosophila*. *Proc. Roy. Soc. B.*, doi: 10.1098/rspb.2015.1198.
- 41) 小林充、片岡崇、青沼仁志、柴田洋一 (2015) ヨトウガの性フェロモンに対する触角電位応答. (英語表題: Response of the bioelectric potential within antenna of *Mamestra Brassicae* against sex pheromone). *農業食料工学会誌*, 77(3): 179-185.
- 42) M. Akiyama, T. Sushida, S. Ishida, H. Haga, “Mathematical model of collective cell migrations based one cell polarity”、*Dev., Growth Differ.*, 59(5), 471-490 (2017).
- 43) M. Akiyama, A. Tero, M. Kawasaki, Y. Nishiura, Y. Yamaguchi, “Theta-alpha EEG phase distributions in the frontal area for dissociation of visual and auditory working memory”、*Sci. Rep.*, 7, 42776 (2017)
- 44) M. Akiyama, A. Tero, M. Kawasaki, Y. Nishiura, Y. Yamaguchi, “Theta-alpha EEG phase distributions in the frontal area for dissociation of visual and auditory working memory”、*Scientific Reports* 7, Article number:42776(2017)、doi:10.1038/srep42776
- 45) I. Kunita, T. Yamaguchi, A. Tero, M. Akiyama, S. Kuroda, T. Nakagaki, “A ciliate memorizes the geometry of a swimming arena”、*Journal of The Royal Society Interface*, 13(118), 20160155, (2016)
- 46) H. Nishino, M. Iwasaki, M. Paoli, I. Kamimura, Y. Atsushi and M. Mizunami, “Spatial receptive fields for odor localization”、*Curr. Biol.*, 28: 600-608 (2018).
- 47) H. Watanabe, H. Nishino, M. Mizunami and F. Yokohari, “Two parallel olfactory pathways for processing general odors in a cockroach”、*Front. in Neur. Cir.*, 11: 1-20 (2017).
- 48) K. Katoh, M. Iwasaki, S. Hosono, A. Yoritsume, M. Ochiai, M. Mizunami and H. Nishino : Group-housed females promote production of asexual ootheca in American cockroaches, *Zool. Lett* , 3(3) : 1-9 (2017)
- 49) N. Takahashi, K. Katoh, H. Watanabe, Y. Nakayama, M. Iwasaki, M. Mizunami and H. Nishino : Complete identification of four giant interneurons supplying mushroom body calyces in the cockroach *Periplaneta americana*, *J. Comp. Neurol.*, 525 : 204-230 (2017).
- 50) Y. Hamanaka, R. Minoura, H. Nishino, T. Miura, M. Mizunami “Dopamine- and tyrosine hydroxylase-immunoreactive neurons in the brain of the American cockroach, *Periplaneta americana*”. *PLoS One* 11: e0160531 (1-27) (2016)
- 51) H. Nishino, H. Mukai, T. Takanashi “Chordotonal organs in hemipteran insects: unique peripheral structures but conserved central organization revealed by comparative neuroanatomy” . *Cell Tissue Res.* 366: 549-572 (2016)
- 52) M. Mizunami, H. Nishino, F. Yokohari “Status of and future research on thermosensory processing” . *Front. Physiol.* 7: 150 (1-5) (2016)
- 53) H. Nishino, H. Watanabe, I. Kamimura, F.

- Yokohari, M. Mizunami “Coarse topographic organization of pheromone-sensitive afferents from different antennal surfaces in the American cockroach”. *Neurosci. Lett.* 595:35-41 (2015).
- 54) E. Ginder, K. Svadlenka “Wave-type threshold dynamics and the hyperbolic mean curvature flow” *J. Journal of Industrial and Applied Mathematics*, 33, No.2, 2016, 501-523.
- 55) E. Ginder, K. Svadlenka. “Wave-type threshold dynamics and the hyperbolic mean curvature flow.” Submitted, (2016).
- 56) E. Ginder, K. Svadlenka. “On an approximation method for hyperbolic mean curvature flow.” *RIMS Kokyuroku*, (2016).
- 57) E. Ginder. “On an approximation scheme for oscillatory interfacial motions.” *Proceedings of the 40th Sapporo Symposium on Partial Differential Equations*, (2015).

4.2 学術論文 (査読なし)

- 1) 田中吉太郎、八杉徹雄、佐藤純、長山雅晴、栄伸一郎、”分化の波のノイズ抑制機構に対する数理モデリングと実験からのアプローチ”、*計算工学講演会論文集*、22(2017).
- 2) 長山雅晴、小林康明、安ヶ平裕介、熊本淳一、傳田光洋、北畑裕之、中田聡、”皮膚疾患再現を目指した皮膚構造数理モデル”、*計算工学講演会論文集*、22(2017).
- 3) 長山雅晴、小林康明、熊本淳一、傳田光洋、北畑裕之、中田聡、”真皮形状を伴う表皮構造の数理モデリング”、*計算工学講演会論文集*、21(2016).
- 4) 長山雅晴、小林康明、澤武裕輔、久保実沙貴、傳田光洋、北畑裕之、中田聡、”真皮形状を考慮した皮膚構造の数理モデリング”、*計算工学講演会論文集*、20(2015).
- 5) 小林康明、北畑裕之、長山雅晴、”表皮の連続体モデルによる真皮形状と角層形状についての解析”、*計算工学講演会論文集*、20(2015).
- 6) 長山雅晴、小林康明、澤武祐輔、久保実沙貴、傳田光洋、中田聡、北畑裕之、”表皮構造の数理モデル、京都大学数理解析研究所講究録”、1957(2015)155-168.
- 7) 秋山正和、須志田隆道、”細胞極性に着目した細胞群の運動モデル”、*計算工学講演会論文集*、(2017).

4.3 総説・解説・評論等

- 1) 西野浩史、渡邊英博、”振動・聴覚受容器のかたちとはたらき”、*昆虫と自然*、669(10): 4-8 (2015).

4.4 著書

- 1) H. Aonuma, Fighting behavior: Understanding the mechanisms of group-size-dependent aggression, in *Cricket as a model organism for the 21st century; Development, Regeneration, and Behavior*. (Eds: Noji S., Horch H.W., Ohuchi H. and Mito T.)、Springer : 179-209 (2017)
- 2) H. Aonuma, Synthetic approaches for observing and measuring cricket behaviors, in *Cricket as a model organism for the 21st century; Development, Regeneration, and Behavior*. (Eds: Noji S., Horch H.W., Ohuchi H. and Mito T.)、Springer : 313-325 (2017)

4.5 講演

a. 招待講演 (国際学会)

- 1) M. Nagayama, “Mathematical analysis of the collective motion of camphor disks”、*Free Boundary Problems and Nonlinear PDEs*, Hokkaido University (Sapporo, Japan), September 26h - 28th, 2017.
- 2) M. Nagayama, ”Mathematical modeling and analysis of the self-propelled disk and its collective motions”、*International Conference on ”Reaction-diffusion system, theory and applications”*、Meiji University (Tokyo, Nakano), March 17ty - 19th, 2017.
- 3) M. Nagayama, “Mathematical modeling for the farrier function of the stratum corneum”、*The 27th CDB Meeting “Body Surface Tactics: Cellular crosstalk for the generation of super-bio-interfaces*、RIKEN Center for Developmental Biology (Kobe, Japan), November 14th - 15th, 2016
- 4) M. Nagayama, “Mathematical analysis of the collective motion of camphor disks”、*International Workshop: Mathematics of Pattern Formation, Mathematical Research and Conference Center, Bedlewo (Poland) September 11th-17th*, 2016.
- 5) M. Nagayama, “Chaotic traveling pulses in some reaction-diffusion system”、*The 11th AIMS Conference on Dynamical systems, Differential Equations and Applications*、Orlando, USA, July 1st - 5th, 2016.
- 6) M. Nagayama, “The collective motion of camphor papers in an annular water channel”、*International Workshop in Industrial Mathematics*、Campinas University, Sao Paulo, Brazil, May 5th - 7th, 2016.
- 7) M. Nagayama, Y. Sawabu, Y. Kobayashi, J. Kuramoto, M. Denda, S. Nakata and H. Kitahata,

- “Mathematical modeling for the barrier function of the stratum corneum”、The 6th Annual Congress of Pan Asian-Pacific Skin Barrier Research Society、Okayama Convention center (Okayama, Japan)、December 13th、2015.
- 8) H. Aonuma、 “Mechanisms of ultra-high speed movement in the trap jaw ant”、SICE Annual Conference (SICE2017)、Kanazawa University. September 19th-22nd、2017.
 - 9) H. Aonuma、 “Synthetic approach to understand neuronal mechanism of social adaptability in animals”、Symposium on Challenges in Neuroscience、National Center for Theoretical Sciences (NCTS)、Taiwan. April 14th、2017.
 - 10) M. Akiyama、T. Sushida、S. Ishida and H. Haga、” A self-propelled particle model based on cell polarity for understanding collective cell migrations”、The 18th RIES-Hokudai International Symposium “Kyoku” (Poster Presentation)、CHÂTERAISÉ Gateaux Kingdom Sapporo、(Sapporo、Japan)、November 30th - December 1st、2017.
 - 11) M. Akiyama and T. Sushida、” A self-propelled particle model based on cell polarity for understanding collective cell migrations”、Equadiff 2017(Bratislava、Slovakia)、July 24th -28th、2017.
 - 12) M. Akiyama and T. Sushida、” A Mathematical Model for Cell Polarity and Cell Migration”、Japan - Austria joint meeting 「Understanding the logic behind developmental dynami」、IST Austria(Vienna、Austria)、November 28th - 29th、2016.
 - 13) H. Nishino、 “ Spatial odor coding in the cockroach”、Mini symposium for olfactory processing in insects、University of Konstanz、Germany、October 19th、2017.
 - 14) E. Ginder、 “Modeling of interfacial active matter: a line mass approach” International Conference CoMFOs16、Kyushu University(Fukuoka、Japan)、October、23rd、2016.

b. 招待講演 (国内学会)

- 1) 長山雅晴、” 皮膚の数理モデリング：皮膚感覚モデルへの挑戦”、日本数学会 2017 年度秋季総合分科会、山形大学 (山形県山形市)、2017 年 9 月 11 日～14 日
- 2) 長山雅晴、” 皮膚感覚数理モデルへの挑戦”、日本時間学会第 9 回大会、山口学芸大学 (山口県山口市)、2017 年 6 月 10 日～11 日
- 3) 長山雅晴、小林康明、熊本淳一、傳田光洋、北畑裕之、中田聡、” 表皮機構の数理モデリングとその皮膚疾患への応用”、第 17 回計測自動制御学会、シス

テムインテグレーション部門講演会、札幌コンベンションセンター (北海道・札幌市)、2016 年 12 月 15 日～17 日

- 4) 青沼仁志、脇田大輝、早瀬友美乃：” 単純な神経系を持つ無脊椎動物の運動に見られる振動現象のモデル化”、第 27 回日本数理生物学会、北海道大学 (北海道札幌市) 2017 年 10 月 6 日～8 日
- 5) 青沼仁志、” 昆虫の高速運動をつくる不思議な仕組み”、技術講演会、北海道大学大学院情報科学研究科 (北海道札幌市)、協賛：精密工学会北海道支部、日本ロボット学会北海道ロボット技術研究専門委員会、計測自動制御学会北海道支部 2017 年 5 月 17 日
- 6) 稲木美紀子、大久保明野、須志田隆道、秋山正和、” 上皮細胞組織変形の三次元シミュレーションを用いたショウジョウバエ消化管の左右非対称な捻転を起こす細胞変形の素過程の同定” 第 69 回日本細胞生物学会大会、仙台国際センター (宮城県仙台市)、2017 年 6 月 13 日
- 7) 西野浩史、” 不動の神経メカニズム—擬死の進化的起源を探る—”、第 65 回日本生態学会全国大会 W20 自由集会 「昆虫の動きと不動を科学する」：生理学と生態学の融合を目指して、札幌コンベンションセンター (北海道札幌市)、2018 年 3 月 15 日～18 日

c. 一般講演 (国際学会)

- 1) M. Okamoto、M. Nagayama、”Mathematical model including fluid’s effect of camphor disk’s self-motion”、The 18th RIES-Hokudai International Symposium “Kyoku” (Poster Presentation)、CHÂTERAISÉ Gateaux Kingdom Sapporo (Sapporo、Japan)、November 30th - December 1st、2017.
- 2) Zixia Zhao、M. Nagayama、M. Uesaka、M. Nakatani and H. Kitahata、”The mathematical model for the tactile stimulus response of the skin sensory receptor”、The 18th RIES-Hokudai International Symposium “Kyoku” (Poster Presentation)、CHÂTERAISÉ Gateaux Kingdom Sapporo (Sapporo、Japan)、November 30th - December 1st、2017.
- 3) M. Okamoto、N. Nagayama、and M. Akiyama、” Mathematical model including fluid’s effect of camphor disk’s self-motion”、The 18th RIES-Hokudai International Symposium “Kyoku” (Poster Presentation)、CHÂTERAISÉ Gateaux Kingdom Sapporo (Sapporo、Japan)、December 13rd - 14th、2016.
- 4) M. Okamoto、N. Nagayama and M. Akiyama、”Mathematical model including fluid’s effect of camphor disk’s self-motion”、Czech-Japanese-Polish Seminar in Applied Mathematics 2016、

- AGH University of Science and Technology(Krakow, Poland)、September 5th - 9th, 2016.
- 5) M. Nagayama, “Mathematicsl modeling for the barrier function of the stratum corneum”、Czech Japanese Polish Seminar in Applied Mathematics 2016、AGH University of Science and Technology (Kraków, Poland)、September 5th -9th、2016.
 - 6) M. Nagayama, K. Wakai, K. Nishi, Y. Kobayashi, Y. Ikura, S. Nakata, “The collective motion of camphor papers in an annular water channel”、ICIAM 2015、Beijing (Chaina)、August 10th - 14th、2015.
 - 7) T. Watanabe, A. Ugajinn and H. Aonuma, “Whole-brain activity mapping for neuroethological study in the cricket”、The 8th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2017)、Hokkaido University(Sapporo, Japan)、June 2017.
 - 8) S. Kuroda, H. Aonuma, K. Yasui and A. Ishiguro, “Adaptive locomotion in centipede: the role of body stiffness and morphology”、The 8th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2017)、Hokkaido University (Sapporo Japan)、June 2017.
 - 9) S. Takahara, H. Aonuma and S. Kaneko, “Developing Maximum Likelihood Approach to Three-Dimensional Reconstruction of Musculoskeletal Structure of Invertebrate Animals Based on X-ray Micro CT Data”、The 8th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2017)、Hokkaido University(Sapporo Japan)、June 2017.
 - 10) K. Yasui, K. Kikuchi, T. Kano, Y. Hayase, S. Kuroda, H. Aonuma, R. Kobayashi and A. Ishiguro, “Decentralized Control Mechanism Underlying Interlimb Coordination of Centipedes”、The 8th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2017)、Hokkaido University (Sapporo Japan)、June 2017.
 - 11) M. Ishikawa, K. Shinohara, K. Goto, K. Naniwa and H. Aonuma, “Analysis and modeling of high-speed running motion of ghost crabs”、The 8th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2017)、Hokkaido University (Sapporo Japan)、June 2017.
 - 12) M. Shimizu, D. Ishii, H. Aonuma and K. Hosoda, “Frog Cyborg Driven by Biological Muscle Actuators That Packaged Physiological Solution”、The 8th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2017)、Hokkaido University(Sapporo Japan)、June 2017.
 - 13) H. Aonuma, D. Wakita, D. Owaki, A. Ishiguro, K. Naniwa, Y. Sugimoto and K. Osuka, “Micro Volume Imaging to Investigate Musculoskeletal Systems in the Arthropod Animals”、The 8th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines(AMAM2017)、Hokkaido University(Sapporo Japan)、June 2017.
 - 14) F. Kimura, H. Aonuma, T. Sato and M. Sakura, “Changes in biogenic amine levels and locomotion activities in the praying mantis *Tenodera angustipennis* and *Hierodula perifella* caused by the parasitic horsehair worm *Chordodes sp.*”、22nd International congree of Zoology and 87th meeting of Zoological Society of Japan(恩納村、宜野湾市)、November 2016.
 - 15) R. Okada, H. Ikeno and H. Aonuma, “Behavioral pattern of a follower bee in the dance communication”、22nd International congree of Zoology and 87th meeting of Zoological Society of Japan(恩納村、宜野湾市)、November 2016.
 - 16) S. Kuroda, H. Aonuma, K. Yasui and A. Ishiguro, “The role of body stiffness for adaptive locomotion in centipede”、22nd International congree of Zoology and 87th meeting of Zoological Society of Japan(恩納村、宜野湾市)、November 2016.
 - 17) H. Aonuma, S. Kuroda, K. Yasui, T. Kano and A. Ishiguro, “Three dimensional analysis of walking legs and their controlling muscles in the centipede *Scolopendra subspinipes mutilans* using micro-CT technique”、22nd International congree of Zoology and 87th meeting of Zoological Society of Japan(恩納村、宜野湾市)、November 2016.
 - 18) T. Ono, T. Kano, H. Aonuma and A. Ishiguro, “Intra-limb Coordination Mechanism of Ophiuroid Locomotion”、Joint meeting of the 5th China-Japan-Korea Colloquium on Mathematical Biology and the 25th Annual Meeting of the Japanese Society for Mathematical Biology、同志社大学今出川キャンパス(京都府京都市)、August.26th - 29th、2015.
 - 19) T. Watanabe, U. Atsushi and H. Aonuma “Neurogeneitics in the field cricket *Gryllus bimaculatus* - a novel experimental approach to understand neural/molecular bases of instinctive be-

- haviors of basal insects”、13th ISIN Symposium on the Neurobiology of Invertebrates (Tihany, Hungary)、August 26th - 30th 2015.
- 20) T. Watanabe and H. Aonuma、” Sex-determination genes in the cricket brain - identification”、expression and molecular evolution”、13th ISIN Symposium on the Neurobiology of Invertebrates (Tihany, Hungary)、August 26th - 30th 2015.
- 21) R. Sakai、M. Shimizu、H. Aonuma and K. Hosoda、” Visualizing wakes in swimming locomotion of *Xenopus*-noid by using PIV”、The 4th International Conference on Biomimetic and Bio-hybrid Systems、Living Machines 2015、La Pedrera Barcelona (Spain)、July 28th - 31st、2015
- 22) H. Aonuma、M. Goda、S. Kuroda、T. Kano、D. Owaki and A. Ishiguro、” Cricket switches locomotion patterns from walking to swimming by evaluating reaction forces from the environment”、The 7th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2015)、MIT (Cambridge, MA, USA)、June 21st - 25th 2015.
- 23) T. Sushida、A. Ookubo、M. Inaki、Y. Inoue、K. Matuno、M. Akiyama、” A three-dimensional vertex dynamics model for understanding the twisting phenomenon of cylindrical cell tissues in *Drosophila*”、The 18th RIES-Hokudai International Symposium “Kyoku” (Poster Presentation)、CHÅTERAISÉ Gateaux Kingdom Sapporo、(Sapporo、Japan)、November. 30th - December. 1st、2017
- 24) T. Sushida、M. Akiyama、” A mathematical model of cell polarity and cell migration”、isdb Singapore 2017 [18th International Congress of Developmental Biology]、National University of Singapore、(Singapore)、June 18th - June 22nd、2017
- 25) T. Sushida、S. Ishida、H. Haga、M. Akiyama、” A self-propelled particle model based on cell polarity for understanding collective cell migrations”、the 50th Annual Meeting of JSDB、Tower Hall Funabori (Tokyo)、May 9th - 11th、2017.
- 26) M. Akiyama、T. Ayukawa、M. Yamazaki、” A Mathematical Analysis of Planar Cell Polarity Model”、H27 年度電子科学研究所国際シンポジウム、シャトレーゼ・ガトーキングダム札幌 (北海道札幌市)、December 13th - 14th、2016.
- 27) M. Akiyama、T. Ayukawa、M. Yamazaki、” A Mathematical Model of Planar Cell Polarity”、International Conference: Patterns and Waves 2016、北海道大学 (北海道札幌市)、August. 1st - 5th、2016.
- 28) M. Akiyama、T. Ayukawa、M. Yamazaki、” A Mathematical Model of Planar Cell Polarity”、The European Conference on Mathematical and Theoretical Biology 2016 (ヨーロッパ数理生物会)、The University of Nottingham、(Nottingham、England)、July 11th - 15th 2016.
- 29) H. Koga、H. Watanabe、H. Nishino、M. Hojo、W. Omura、T. Takanashi and F. Yokohari、” Comparative study of antennal lobe glomeruli in seven species of termites”、JSCP 2017 Fukuoka、Fukuoka University (Fukuoka、Japan)、November 25th - 26th、2017.
- 30) H. Nishino、K. Katoh and M. Domae、” Axonal layer-dependent dendritic organization of Kenyon cells in a hemimetabolous insect”、JSCP 2017 Fukuoka、Fukuoka University (Fukuoka Japan)、Nov. 25th - November 26th、2017.
- 31) H. Nishino、M. Iwasaki、N. Takahashi、K. Katoh and A. Matsushita ” A neuron coding odor direction”、The 87th Annual Meeting of the Zoological Society of Japan、沖縄コンベンションセンター (恩納村、宜野湾市) November 2016.
- 32) H. Koga、H. Watanabe、H. Nishino、M. Hojo、W. Ohmura、T. Takanashi and F. Yokohari、” Similarity and variability of glomerular organizations of the antennal lobes in seven species of termites”、The 87th Annual Meeting of the Zoological Society of Japan、沖縄コンベンションセンター (恩納村、宜野湾市)、November 2016.
- 33) H. Watanabe、H. Nishino、M. Mizunami and F. Yokohari ” Two parallel coding strategies to process general odor in basal insects”、The 87th Annual Meeting of the Zoological Society of Japan、沖縄コンベンションセンター (恩納村、宜野湾市)、November 2016.
- 34) T. Takanashi、H. Sakamoto、N. Skals、S. Fukui、Y. Matsui、T. Koike and H. Nishino、” Vibration sensitivity in cerambycid beetles and its potential for insect pest control”、The 87th Annual Meeting of the Zoological Society of Japan、沖縄コンベンションセンター (恩納村、宜野湾市)、November 2016.
- 35) N. Takahashi、K. Katoh、H. Watanabe、M. Mizunami and H. Nishino、” Complete identification of four calycal giant interneurons in an insect brain”、The 87th Annual Meeting of the Zoological Society of Japan、沖縄コンベンションセンター (恩納村、宜野湾市)、November 2016.

- 36) K. Katoh, N. Takahashi, H. Watanabe, M. Mizunami and H. Nishino, "Aggregation pheromone processing in a cockroach brain", JSCP 2016 Tokyo, 玉川大学 (東京・町田市), September 2016.
- 37) H. Nishino, K. Katoh, M. Iwasaki, N. Takahashi and H. Watanabe, "Activity of a pheromone-responsive projection neuron is inhibited by pheromonal stimulation to the contralateral antenna.", JSCP 2016 Tokyo, 玉川大学 (東京・町田市), September 2016.
- 38) K. Terao, T. Watanabe, H. Aonuma, H. Nishino and M. Mizunami, "Distribution of putative octopaminergic and tyraminergetic neurons in a cockroach brain", JSCP 2016 Tokyo, 玉川大学 (東京・町田市), September 2016.
- 39) H. Watanabe, H. Nishino, M. Mizunami and F. Yokohari, "Olfactory processing via temporally and spatially segregated parallel pathways in an insect brain". Environmental Sensing and Animal Behavior (ESAB), 東京大学 (東京都), June 2016.
- 40) T. Takanashi, M. Fukaya and H. Nishino, "Substrate vibrations mediate behavioral responses via leg chordotonal organ in the Japanese pine sawyerbeetle", 15th International Meeting on Invertebrate Sound & Vibration, Lord Elgin Hotel, Ottawa, Ontario, Canada, July 13th - 17th, 2015.
- 41) H. Mukai, H. Nishino and T. Takanashi, "Vibratory signals detected by leg chordotonal organs enhance mating success in a jewel bug", 15th International Meeting on Invertebrate Sound & Vibration, Lord Elgin Hotel, Ottawa, Ontario, Canada, July 13th -17th, 2015.
- d. 一般講演 (国内学会)
- 1) 後藤田剛、上坂正晃、安ヶ平裕介、小林康明、北畑裕之、傳田光洋、長山雅晴、"表皮構造の数理モデルにおける顆粒層の安定化とタイトジャンクション形成への取り組み", 日本数学会 2018 年度年会、東京大学駒場キャンパス (東京都、目黒区)、2018 年 3 月 21 日
- 2) 後藤田剛、上坂正晃、安ヶ平裕介、小林康明、北畑裕之、傳田光洋、長山雅晴、"表皮構造の数理モデルにおける顆粒層の形成", 応用数学合同研究集会、龍谷大学 (滋賀県、大津市)、12 月 14 日～16 日。
- 3) 趙子夏、上坂正晃、仲谷正史、北畑裕之、長山雅晴 "皮膚感覚受容器の触刺激応答に関する数理モデル", 応用数学合同研究集会、龍谷大学 (滋賀県、大津市)、12 月 14 日～16 日。
- 4) 岡本守、長山雅晴、"対流の効果を含む界面活性剤系自走粒子の自律運動に関する数理モデル", 応用数学合同研究集会、龍谷大学 (滋賀県、大津市)、12 月 14 日～16 日。
- 5) 小林康明、安ヶ平裕介、北畑裕之、傳田光洋、長山雅晴、"皮膚疾患再現を目指した皮膚構造数理モデル", 第 22 回計算工学講演会、ソニックシティー (埼玉県、さいたま市)、2017 年 5 月 31 日～6 月 2 日。
- 6) 長山雅晴、"皮変形を伴う表皮構造の数理モデリング", 第 21 回計算工学講演会、新潟コンベンションセンター (新潟県・新潟市)、2016 年 5 月 31 日～6 月 2 日。
- 7) 安芸 勇人、小林康明、中川淳一、長山雅晴、鉄鉦石"焼結の空隙形成に対する数理解科学的アプローチ", 応用数学合同研究集会、龍谷大学 (滋賀県、大津市)、2015 年 12 月 17 日～19 日。
- 8) 岡本守、長山雅晴、小林康明、金子美奈、秋山正和、"樟脳の自律運動に対する対流の影響", 応用数学合同研究集会、龍谷大学 (滋賀県、大津市)、2015 年 12 月 17 日～19 日。
- 9) 南佳晃、佐藤純、三浦岳、長山雅晴、"Proneural waveの数理モデリング", 応用数学合同研究集会、龍谷大学 (滋賀県、大津市)、12 月 17 日～19 日。
- 10) 小林康明、北畑裕之、長山雅晴、"長距離結合を持つ弱興奮系における振動ダイナミクス", 応用数学合同研究集会、龍谷大学 (滋賀県、大津市)、2015 年 12 月 17 日～19 日。
- 11) 小林康明、北畑裕之、長山雅晴、"表皮幹細胞ダイナミクスと真皮形状の関係", 日本応用数学会年会、金沢大学角間キャンパス (石川県・金沢市)、2015 年 9 月 9 日～11 日。
- 12) 西 慧、若井健、上田知明、吉井美優、井倉弓彦、西森拓、中田聡、長山雅晴、"円環水路上の 2 個の樟脳ろ紙がみせる運動の数理解析", 日本応用数学会年会、金沢大学角間キャンパス (石川県・金沢市)、2015 年 9 月 9 日～11 日。
- 13) 中田聡 (広島大学)、田中晋平、長山雅晴、"自己駆動系で作るリズムと秩序", 日本応用数学会年会、金沢大学角間キャンパス (石川県・金沢市)、2015 年 9 月 9 日～11 日。
- 14) 傳田光洋 (資生堂)、長山雅晴、"表皮恒常性維持機構におけるカルシウムイオンの役割", 日本応用数学会年会、金沢大学角間キャンパス (石川県・金沢市)、2015 年 9 月 9 日～11 日。
- 15) 長山雅晴、小林康明、久保実沙貴、澤武裕輔、傳田光洋、北畑裕之、中田聡、"真皮形状を考慮した表皮構造の数理モデリング", 計算工学講演会、つくば国際会議場 (茨城県・つくば市)、6 月 8 日～10 日。
- 16) 小林康明、北畑裕之、長山雅晴、"表皮の連続体モデルによる真皮形状と角層形状についての解析",

- 計算工学講演会、つくば国際会議場（茨城県・つくば市）、6月8日～10日。
- 17) 大須賀公一、青沼仁志、”生き物の多様な振る舞いを生み出す源泉をさぐるには?”、計測自動制御学会第30回自律分散システムシンポジウム、名城大学（愛知県名古屋市）、2018年1月。
 - 18) 浪花啓右、杉本靖博、青沼仁志、大須賀公一、”触角への電気刺激によるクロコオロギの闘争性の増強”、計測自動制御学会第30回自律分散システムシンポジウム、名古屋市名城大学（愛知県名古屋市）、2018年1月。
 - 19) 青沼仁志、”トラップジョウをもつアリの超高速運動の発生メカニズム”、計測自動制御学会第30回自律分散システムシンポジウム、名古屋市名城大学（愛知県名古屋市）、2018年1月。
 - 20) 大脇大、杉本靖博、石黒章夫、青沼仁志、”コオロギの脚切断後の筋電位パターンの変容”、計測自動制御学会第30回自律分散システムシンポジウム、名古屋市名城大学（愛知県名古屋市）、2018年1月。
 - 21) 安井浩太郎、菊池和気、加納剛史、黒田茂、青沼仁志、石黒章夫、”ムカデが足並みの疎密波の向きを変えるメカニズム”、計測自動制御学会第30回自律分散システムシンポジウム、名古屋市名城大学（愛知県名古屋市）、2018年1月。
 - 22) H. Aonuma, K. Kagaya, A. Matsuda, S. Kaneko and K. Osuka, “Slow and ultra-fast movements of the mandible in the trap jaw ant genus *Odontomachus*”、日本比較生理生化学会第39回大会、福岡大学（福岡県福岡市）、2017年11月。
 - 23) D. Owaki, Y. Sugimoto, A. Ishiguro and H. Aonuma, “Change in coordinated motor patterns after leg amputation in the cricket”、日本比較生理生化学会第39回大会、福岡大学（福岡県福岡市）、2017年11月。
 - 24) R. Okada, H. Ikeno and H. Aonuma, ”Behavior of follower bees in a hive before departure after the dance communication”、日本比較生理生化学会第39回大会、福岡大学（福岡県福岡市）、2017年11月。
 - 25) 青沼仁志、”Ultra-fast movement of trap jaw ants”、計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2017 (SSI2017)、静岡大学（静岡県浜松市）、2017年11月。
 - 26) 渡邊崇之、宇賀神篤、青沼仁志、”初期応答遺伝子プロモーターを利用したコオロギ脳機能マッピング”、日本動物学会第88回大会、富山県民会館（富山県富山市）、2017年9月。
 - 27) 青沼仁志、大須賀公一、”オキナワアギトアリの大顎の高速運動をつくりだす外骨格の構造解析”、日本動物学会第88回大会、富山県民会館（富山県富山市）、2017年9月。
 - 28) 岡田龍一、池野英利、青沼仁志、”ダンス追従パチは複数のダンス蜂を追従する”、日本動物学会第88回大会、富山県民会館（富山県富山市）、2017年9月。
 - 29) 早瀬友美乃、中西秀、坂上貴洋、青沼仁志、高原聡、松田朝陽、金子俊一、”マイクロCTを使った丸めた紙の3次元構造解析”、日本物理学会2017年秋季大会、岩手大学（岩手県盛岡市）、2017年9月。
 - 30) 高原聡、青沼仁志、金子俊一、”クモヒトデ模倣ロボット設計に向けたX線マイクロCTによる骨格形状抽出”、精密工学会北海道支部会、北海道大学（北海道札幌市）、2017年9月。
 - 31) 松田朝陽、青沼仁志、金子俊一、”アギトアリの大顎の超高速運動解析に向けた動画像計測手法の検討”、精密工学会北海道支部会、北海道大学（北海道札幌市）、2017年9月。
 - 32) 長谷川英祐、青沼仁志、寺尾勘太、小楠なつき、大久保祐作、渡邊紗織、三上俊太、藤田悠介、水波誠、村上優花、”アリは巣仲間と交流してストレスから回復する”、日本動物行動関連学会・研究会 合同大会（行動2017）、東京大学（東京都）、2017年8月30日～2017年9月1日。
 - 33) 渡邊崇之、宇賀神篤、青沼仁志、”最初期遺伝子プロモーターを利用したコオロギ脳機能マッピング法の確立”、日本動物学会北海道支部大会第62回大会、北海道大学理学部（北海道札幌市）2017年8月。
 - 34) K. Terao, T. Watanabe, H. Aonuma, H. Nishino and M. Mizunami, ”Distribution of putative octopaminergic and tyraminergetic neurons in a cockroach brain”、JSCP 2016 Tokyo、玉川大学（東京・町田市）、2016年9月。
 - 35) F. Kimura, H. Aonuma, T. Sato and M. Sakura, “Change in biogenic amine levels in the narrow-winged mantis *Tenodera angustipennis* caused by the parasitic horsehair worm *Chordodes* sp.”、第40回日本比較内分化学会・第37回日本比較生理生化学会 合同大会（CompBiol 2015広島大会）、広島市JMSアステールプラザ 2015年12月11～13日。
 - 36) R. Okada, H. Ikeno, T. Kimura, M. Ohashi, H. Aonuma and E. Ito, “Behavioral pattern of a follower bee during the honeybee dance communication”、第40回日本比較内分化学会・第37回日本比較生理生化学会 合同大会（CompBiol 2015広島大会）、広島市JMSアステールプラザ 2015年12月11日～13日。
 - 37) R. Matsuo, M. Tanaka, R. Fukata, S. Kobayashi, H. Aonuma and Y. Matsuo “Octopaminergic system in the brain of the terrestrial slug *Limax*”、第40回日本比較内分化学会・第37回日本

- 比較生理生化学会 合同大会 (CompBiol 2015広島大会)、広島市JMSアステールプラザ 2015年12月11日～13日.
- 38) 渡邊崇之、宇賀神篤、青沼仁志、“始的な不完全昆虫脳で発現する最初期遺伝子の探索”、日本動物学会 第86回大会、新潟コンベンションセンター 朱鷺メッセ 2015年9月17日～19日.
 - 39) 渡邊崇之、青沼仁志、“不完全変態昆虫脳で発現する性決定因子の解析”、日本進化学会第17回東京大会、中央大学後楽園キャンパス 2015年8月20～23日
 - 40) 小野達也、加納剛史、青沼仁志、松坂義哉、石黒章夫、“環境からの手応えを活用するクモヒトデのロコモーションに内在する自律分散制御則”、ロボティクス・メカトロニクス講演会、京都市勧業館「みやこめっせ」 2015年5月17～19日.
 - 41) 須志田隆道、秋山和、“基底膜に覆われた細胞群の回転運動を表現するための数理モデル”、日本数学会 2018 年度年会、東京大学 (東京都)、2018 年 3 月 18 日～21 日.
 - 42) 秋山 正和、須志田隆道、石田すみれ、芳賀永、“細胞極性と細胞移動の数理モデル”、第 27 回 日本数理生物学会、北海道大学 (北海道札幌市)、2017 年 10 月 6 日～10 月 8 日
 - 43) 秋山正和、須志田隆道、“細胞極性に着目した細胞群の運動モデル”、第 22 回 計算工学講演会、(埼玉県さいたま市)、2017 年 5 月 31 日～6 月 2 日.
 - 44) 秋山正和、鮎川友紀、山崎正和、“平面内細胞極性の数理モデル”、応用数理学会、金沢大学 (石川県金沢市)、2015年9月9日～11日.
 - 45) 秋山正和、鮎川友紀、山崎正和、平面内細胞極性の数理モデル、応用数学合同研究集会、龍谷学 (滋賀県大津市)、2015年12月17日-12月19日.
 - 46) 石橋宏朗、乾ちひろ、岸本光司、船山典子、秋山正和、“カイメンの骨格形成に対する数理モデルの構築”、応用数学合同研究集会、龍谷大学 (滋賀県大津市)、2015年12月17日～19日.
 - 47) 宇賀神篤、西野浩史、尾崎克久、“ナミアゲハ食草認識における脳の寄与の検討”、第 62 回日本応用動物昆虫学会大会、鹿児島大学郡元キャンパス (鹿児島県鹿児島市) 2018 年 3 月 25 日～27 日.
 - 48) 古賀晴華、渡邊英博、西野浩史、北條優、大村和香子、横張文男、“シロアリの触角葉系球体構成のカーブ間比較”、第 61 回日本応用動物昆虫学会大会、東京農工大学 (東京都小金井市)、2017 年 3 月.
 - 49) 田中真史、加藤巧、西野浩史、大門高明、“ワモンゴキブリの単為生殖のメカニズム”、第 61 回日本応用動物昆虫学会大会、東京農工大学小金井キャンパス、2017 年 3 月.
 - 50) 向井裕美、西野浩史、Scals Niels、高梨琢磨、“カメムシは左右脚部の振動受容器が生む強度差比較により振動源に定位する”、第 61 回日本応用動物昆虫学会大会、東京農工大学小金井キャンパス、2017 年 3 月.
 - 51) 小松正宏、増谷直輝、栗原啓伍、西野浩史、“高速道路の飛来虫に関する研究”、第 17 回「野生生物と交通」研究発表会、札幌市教育文化会館 (北海道札幌市)、2018 年 2 月 23 日.
 - 52) H. Mukai, H. Nishino, N. Skals and, T. Takashi: Male jewel bug localizes female calling vibrations: directional vibration sensing by chordotonal organs、第 3 回生物音響学会年次研究発表会、伊良湖シーパーク & スパ (愛知県田原市伊良湖町宮下)、2016 年 12 月.
 - 53) 古賀晴華、渡邊英博、西野浩史、北條優、大村和香子、高梨琢磨、横張文男、“7 種のシロアリの触角葉系球体構成の比較解析”、動物学会・植物学会・生態学会三学会合同鹿児島大会、鹿児島大学、2016 年 5 月.
 - 54) 高橋直美、加藤巧、渡邊英博、水波誠、西野浩史、“Complete identification of four types of calyca giant interneurons in an insect brain”、CompBiol 2015 広島大会、JMS アステールプラザ、2015年12月11日～13日.
 - 55) 加藤巧、岩崎正純、水波誠、西野浩史、“Dormitory effect in cockroaches: synchronization of asexual ootheca production in females”、CompBiol 2015 広島大会、JMS アステールプラザ、2015 年12月11日～13日.
 - 56) 西野浩史、“Traditional insect hearing organ revisited: key anatomical feature for frequency discrimination”、CompBiol 2015 広島大会、JMS アステールプラザ、2015年12月11日～13日.
 - 57) 西野浩史、岩崎正純、加藤巧、高橋直美、“単一ニューロンによる匂いの方向検出”、日本動物学会第 86 回大会、朱鷺メッセ (新潟市)、2015年9月17日～19日.
 - 58) 渡邊英博、西野浩史、高梨琢磨、横張文男、“マツノマダラカミキリ弦音器官がもつセロトニン免疫陽性の細胞内微細構造”、日本動物学会第86回大会、朱鷺メッセ (新潟市)、2015年9月17日～19日.
 - 59) 加藤巧、岩崎正純、水波誠、西野浩史、“ゴキブリのグループ効果: 単為生殖における卵鞘形成同調”、日本昆虫学会第76回大会・第60回日本応用動物昆虫学会・合同大会、大阪府立大学、2015年3月26日～29日.
 - 60) Elliott Ginder、“Patterns in some string and rod-like active matter systems”、日本応用数理学会 2015 年度年会、金沢大学 (石川県金沢市)、2015年9月11日

e. 研究会・シンポジウム・ワークショップなど

- 1) 長山雅晴、“皮膚感覚受容器の数理モデルによる触錯覚現象へのアプローチ”、非線形現象の数値シミュレーションと解析 2018、北海道大学（北海道札幌市）、2018年3月9日～10日。
- 2) 長山雅晴、“表皮構造の数理モデル”、研究集会「反応拡散系と実験の融合」、石川県政記念しいのき迎賓館（石川県金沢市）、2018年2月21日～22日。
- 3) 長山雅晴、“自走粒子運動の数理モデル”、2018 軽井沢グラフと解析研究集会、日本大学軽井沢研修所（長野県軽井沢市）、2018年2月12日～15日。
- 4) 長山雅晴、“自己駆動系粒子運動の数理解析”、千葉大学非線形科学セミナー、千葉大学（千葉県千葉市）、2017年6月28日。
- 5) 長山雅晴、“自走粒子系の集団運動に対する数理解析”、岡山大学解析セミナー、岡山大学（岡山県岡山市）、2017年5月18日。
- 6) 長山雅晴、“表皮の数理モデル”、京都大学皮膚科セミナー、京都大学（京都府京都市）、2017年3月23日。
- 7) 長山雅晴、“角層バリア機能の数理モデル”ポスター発表、第二回部局間横断シンポジウム「免疫・癌・感染」、北海道大学（北海道札幌市）、2017年3月14日。
- 8) 長山雅晴、“自励往復運動する液滴の数理モデル”、非線形現象の数値シミュレーションと解析 2017、北海道大学（北海道札幌市）、2017年3月7日～8日。
- 9) 長山雅晴、“表皮構造の数理モデリング”、数理生物研究会 2017、北海道大学（北海道札幌市）、2017年3月9日～10日。
- 10) 長山雅晴、“表皮の数理モデルについて”、第5回皮膚の会、アイ・アイ・ランド（大阪府四條畷市）、2017年3月4日～5日。
- 11) 長山雅晴、“樟脳円盤の集団運動と反応拡散系”、複雑系数理の新展開、北海道大学（北海道札幌市）、2017年2月15日～16日。
- 12) 長山雅晴、“皮膚構造の数理モデリング：病態再現への挑戦”、CREST 領域シンポジウム、東京大学大学院数理科学研究科（東京都目黒区）、2017年2月11日～12日。
- 13) 長山雅晴、“自走運動に対する数理モデリングとその解析”、2017年軽井沢グラフと解析研究集会、日本大学軽井沢研修所（長野県軽井沢市）、2017年2月8日～10日。
- 14) M. Nagayama, “Mathematical modeling and analysis of the self-propelled disk and its collective motions”、Seminar, Université Paris-Sud 11 (France, Orsay) January 19th, 2017.
- 15) 長山雅晴、“表皮が維持される仕組みを数理で考える、生物多様性コロキウム”、京都大学（京都府京都市）、2017年1月10日。
- 16) 長山雅晴、“表皮構造の数理モデルの医学・産業界への応用の可能性について”、ものづくりセミナー、鹿島建設（東京都港区）、2016年10月26日。
- 17) 岡本守、長山雅晴、秋山正和、“樟脳の自律運動に対する対流の影響”、RIMS 研究集会「現象解明に向けた数値解析学の新展開Ⅱ」、京都大学数理解析研究所（京都府京都市）、2016年10月19日～21日。
- 18) 長山雅晴、“表皮構造の数理モデルとその応用について”、医用画像と数理に関する4プロジェクト合同セミナー、北海道大学電子科学研究所（北海道札幌市）、2016年9月21日～22日。
- 19) 岡本守、長山雅晴、秋山正和、“マランゴニ流の影響を含む、円環水路における樟脳円盤の自律運動の数理モデル”、第10回応用数理研究会、休暇村能登千里浜、（石川県羽咋市）、2016年8月25日～26日。
- 20) 長山雅晴、“角層バリア機能の数理モデリングとその応用”、第53回 芝浦工大数理科学科談話会、芝浦工業大学大宮キャンパス（埼玉県さいたま市）、2016年4月27日。
- 21) 長山雅晴、“反応拡散系と樟脳運動の数理モデル”、金沢解析セミナー、金沢大学キャンパスプラザ（石川県金沢市）、2016年4月9日。
- 22) 長山雅晴、小林康明、傳田光洋、北畑裕之、中田聡、“表皮構造の数理モデリング～病態再現を目指して～”、北大皮膚科特別講演（北海道・札幌市）、2016年2月24日。
- 23) 長山雅晴、小林康明、西慧、井倉弓彦、中田聡、“樟脳粒子の集団運動に対する数理解析”、岐阜数理科学セミナー、岐阜大学（岐阜県岐阜市）、2015年7月15日。
- 24) 長山雅晴、小林康明、南佳晃、澤武裕輔、傳田光洋、北畑裕之、中田聡、“表皮構造の数理モデリング～表皮バリア機能の恒常性維持について～”、談話会、徳島大学（徳島県徳島市）、2015年5月22日。
- 25) 小野達也、金内大地、加納剛史、青沼仁志、石黒章夫、“クモヒトデの適応的ロコモーションに内在する階層的な自律分散制御則の解明”、第29回 自律分散システム・シンポジウム、調布クレストンホテル（東京）、2017年1月。
- 26) 安井浩太郎、菊池和気、加納剛史、早瀬友美乃、黒田茂、青沼仁志、小林亮、石黒章夫、“ムカゲの適応的ロコモーションに内在する自律分散制御則”、第29回 自律分散システム・シンポジウム、調布クレストンホテル、（東京）、2017年1月。
- 27) F. Kimura, H. Aonuma, T. Sato and M. Sakura, “Changes in biogenic amine levels and locomotion activities in the praying mantis *Tenodera angustipennis* and *Hierodula perifella* caused by the parasitic horsehair worm *Chordodes sp.*”、22nd International congress of Zoology and 87th

- meeting of Zoological Society of Japan、(恩納村、宜野湾市)、2016年11月.
- 28) R. Okada, H. Ikeno and H. Aonuma, "Behavioral pattern of a follower bee in the dance communication", 22nd International congress of Zoology and 87th meeting of Zoological Society of Japan、(恩納村、宜野湾市)、2016年11月.
 - 29) S. Kuroda, H. Aonuma, K. Yasui and A. Ishiguro, "The role of body stiffness for adaptive locomotion in centipede", 22nd International congress of Zoology and 87th meeting of Zoological Society of Japan、(恩納村、宜野湾市) 2016年11月.
 - 30) H. Aonuma, S. Kuroda, K. Yasui, T. Kano and A. Ishiguro, "Three dimensional analysis of walking legs and their controlling muscles in the centipede *Scolopendra subspinipes mutilans* using micro-CT technique", 22nd International congress of Zoology and 87th meeting of Zoological Society of Japan、(恩納村、宜野湾市)、2016年11月.
 - 31) 小野達也、加納剛史、青沼仁志、松坂義哉、石黒章夫、"足場を活用して推進するクモヒトデのロコモーションに内在する自律分散制御則" ロボティクス・メカトロニクス講演会、パシフィコ横浜、(神奈川県横浜市)、2016年6月.
 - 32) 秋山正和、"A Mathematical Model of Cell Polarity and Cell Migration", 平成29年度 研究交流会、北海道大学電子科学研究所(北海道札幌市)、2018年1月5日.
 - 33) 秋山正和、須志田隆道、石田すみれ、芳賀永、"A self-propelled particle model based on cell polarity for understanding collective cell migrations", 2017年度 人・環境と物質をつなぐイノベーション創出 ダイナミックアライアンス G3 分科会、東北大学片平キャンパス(宮城県仙台市) および 秋保温泉ホテルニュー水戸屋(宮城県仙台市)、2017年11月27日~28日.
 - 34) 秋山正和、須志田隆道、石田すみれ、芳賀永、"A self-propelled particle model based on cell polarity for understanding collective cell migrations", 2017年度 人・環境と物質をつなぐイノベーション創出 タダイナミックアライアンス G3 若手研究者交流会(宮城県仙台市)、2017年11月26日.
 - 35) 秋山正和、須志田隆道、"細胞極性と細胞移動の数理モデル", 新学術領域「生物の3D形態を構築するロジック」2017年度 班会議、北海道大学(北海道札幌市)、2017年6月26日~27日.
 - 36) 全悦、亀谷治頌、島田敦子、秋山正和、"細胞集団の回転運動による3D形態形成のロジック", 新学術領域「生物の3D形態を構築するロジック」2017年度 班会議、北海道大学(北海道札幌市)、2017年6月26日~27日.
 - 37) 秋山正和、"細胞極性と細胞移動の数理モデル", 数理生物研究会2017、北海道大学電子科学研究所(北海道札幌市)、2017年3月9日~11日.
 - 38) 須志田隆道、秋山正和、"消化管の捻転現象を理解するための三次元パーテックスダイナミクスモデル", 数理生物研究会2017、北海道大学電子科学研究所、(北海道札幌市)、2017年3月9日~11日.
 - 39) 秋山正和、"生物の形に関する数理的アプローチ", 第4回 JST 数学領域横断若手合宿、休暇村 讃岐五色台(香川県・坂出市)、2017年2月20日~23日.
 - 40) 秋山正和、山崎正和、"細胞集団が同じ方向を向く仕組み~数学と生物学のマリアージュ~", CREST「生命動態の理解と制御のための基盤技術の創出」研究領域第7回数理デザイン道場、(お台場、東京)、2016年12月19日~20日.
 - 41) 須志田隆道、秋山正和、"細胞極性と細胞移動の数理モデル", 2016年度応用数学合同研究集会、龍谷大学(滋賀県大津市)、2016年12月15日~17日.
 - 42) 岡本守、秋山正和、長山雅晴、"マランゴニ流の影響を含む、円環水路における樟脳円盤の自律運動の数理モデル", 2016年度応用数学合同研究集会、龍谷大学(滋賀県大津市)、2016年12月15日~17日.
 - 43) 須志田隆道、秋山正和、"3次元形態を表現する数学的基盤の構築", 日本数学会 異分野・異業種研究交流会2016、明治大学(東京都)、2016年11月19日.
 - 44) 秋山正和、須志田隆道、"細胞極性と細胞移動の数理モデル", RIMS 研究集会 第13回「生物数学の理論とその応用」-連続および離散モデルのモデリングと解析-, 京都大学数理解析研究所(京都府京都市)、2016年11月14日~17日.
 - 45) 秋山正和、須志田隆道、"細胞. 極性と細胞移動の数理モデル", 第4回アライアンス若手研究交流会、北海道大学電子科学研究所(北海道札幌市)、2016年11月9日~10日.
 - 46) 秋山正和、山崎正和、鮎川友紀、"毛の方向が一方方向に揃う現象に関する数理モデル", 第4回アライアンス若手研究交流会、北海道大学電子科学研究所(北海道札幌市)、2016年11月9日~10日.
 - 47) 須志田隆道、秋山正和、"3次元形態を表現する数学的基盤の構築", RIMS 研究集会「集団ダイナミクスに現れる時空間パターンの数理」、京都大学数理解析研究所(京都府京都市)、2016年10月12日~14日.
 - 48) 秋山正和、須志田隆道、"細胞極性と細胞移動の数理モデル", RIMS 研究集会「集団ダイナミクスに現れる時空間パターンの数理」、京都大学数理解析研究所(京都府京都市)、2016年10月12日~14日.
 - 49) T. Hayashi, M. Akiyama, M. Sato, "Tetragonal versus

- hexagonal tiling of the Drosophila eye”, 12th Japanese Drosophila Research Conference (第12回日本ショウジョウバエ研究会、立教大学)、2016年9月9日～11日.
- 50) 秋山正和、鮎川友紀、山崎正和、”平面内細胞極性の数理モデル”、数理で解き明かす森羅万象〜小林亮と“ゆかい”な仲間たちの研究会、広島大学(広島県東広島市)、2016年8月20日～21日.
 - 51) 秋山正和、鮎川友紀、山崎正和、”平面内細胞極性の数理モデル”、数理で解き明かす森羅万象〜小林亮とゆかいな仲間たちの研究会、広島大学(広島県東広島市)、2016年8月20日～21日.
 - 52) 秋山正和、”細胞極性と細胞移動の数理モデル”、新学術領域研究(研究領域提案型)「生物の3D形態を構築するロジック」班会議、北海道大学電子科学研究所(北海道札幌市)、2016年5月23日～24日.
 - 53) 秋山正和、鮎川友紀、山崎正和、”平面内細胞極性の数理モデル”、N.L.P.M. コロキウム、広島大学(広島県東広島市)、2015年5月22日.
 - 54) E. Ginder、”Variational approaches to the analysis and modeling of interfacial motions”、Mathematical Soft Matter Seminar 2017年3月28日
 - 55) E. Ginder、”A line mass approach to some active matter systems” MIMS International Conference on Reaction-diffusion system, theory and applications、2017年3月18日.
 - 56) E. Ginder、”Multiphase shape optimization in phononic crystal design” CREST・さきがけ・数学共同プログラム合同シンポジウム、2017年2月11日
 - 57) E. Ginder、”双曲型平均曲率流の近似解法について”、2016年度第11回明治非線型数理セミナー、2016年11月7日.
 - 58) E. Ginder、”A density gradient approach to bandgap optimization in composite materials”、Applied Mathematics for Real-world Problems II. 2016年10月29日.
 - 59) E. Ginder、”A vector field approach to the embedding of multiphase hypersurfaces in three-dimensional Euclidean spaces”、Workshop on Non-linear phenomena, Modeling, and Simulation. 2016年9月2日
 - 60) E. Ginder、”A method for embedding multiphase hypersurfaces in Euclidean spaces”、Maet mini-workshop、2016年6月15日.
 - 61) Elliott Ginder. ”On a vector field embedding of multiphase geometries” 北陸応用数理研究会 2016、2016年2月19日.
 - 62) Elliott Ginder. ”On a vector field embedding of multiphase geometries”、数理科学分野横断若手連携セミナー、2016年2月12日.

- 63) Elliott Ginder、”On the motion of line masses in some active matter motions”、Workshop on new trends in patterns and waves. 2015年8月18日.

4.6 シンポジウムの開催

- 1) 長山雅晴、第11回応用数理研究会、休暇村能登千里浜、2017年8月25日～27日.
- 2) A. Ishiguro (General chair) and H. Aonuma (Local chair): The 8th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines、Hokkaido Univ. (Sapporo, Japan) 2017年6月27日～30日.
- 3) 長山雅晴、第10回応用数理研究会、休暇村能登千里浜、2016年8月25日～8月27日
- 4) 長山雅晴、非線形現象研究会 2016、北海道大学 中央キャンパス総合研究棟、2016年8月30日～31日.
- 5) 長山雅晴、札幌数理生物研究会 2017、北海道大学 中央キャンパス総合研究棟、2017年3月9日～10日.
- 6) 青沼仁志、第3回生物を規範としたロボット設計に関する研究会大濱信泉記念館(沖縄県石垣市)、2016年12月3日～5日.
- 7) 秋山正和、第4回 JST 数学領域横断若手合宿、休暇村讃岐五色台(香川県・坂出市)、2017年2月20～23.
- 8) 秋山正和、数理で解き明かす森羅万象「小林亮とゆかいな仲間たちの研究会」、広島大学(広島県東広島市)、2016年8月20日～21日.

4.7 共同研究

a. 国内大学、研究機関との共同研究

- 1) 長山雅晴、広島大学大学院理学研究科、千葉大学大学院理学研究院、自走粒子運動の数理解析、2012年度～.
- 2) 長山雅晴、金沢大学、九州大学、発生初期分化波の数理モデリング.
- 3) 秋山正和、秋田大学、平面内細胞極性に関する数理的な研究.
- 4) 秋山正和、九州大学数理学府、九州大学マスフォアインダストリ研究所、北海道大学、テトラヒメナの容器記憶現象に対する数理モデルに関する研究.
- 5) 秋山正和、理化学研究所、東北大学、筑波大学、九州大学、脳の関する数理的な研究
- 6) 秋山正和、京都大学、カイメン動物の変形様式に関する数理的な研究.
- 7) 秋山正和、大阪大学、ショウジョウバエ後腸の捻転に関する数理的な研究.
- 8) 秋山正和、北海道大学大学院、金沢大学、「生命現象における時空間パターンを支配する普遍的数理モデル導出に向けた数学理論の構築」に関する数理的な研究
- 9) 秋山正和、大阪大学、ゼブラフィッシュ細胞の自己回転運動に関する数理的な研究.

- 10) 秋山正和、東京大学、ゼブラフィッシュ体節の自己組織化現象に関する数理解析的研究。
- 11) 秋山正和、京都大学、折りたたみの細胞シートから構築される昆虫外骨格の3D形態に関する数理解析的研究
- 12) Elliott Ginder、ICMSEC、京都大学、Xianmin Xu (ICMSEC、Wetting of rough and chemically patterned surfaces.
- 13) Elliott Ginder、金沢大学、Analysis of a hyperbolic free boundary problem with volume constraint.
- 14) Elliott Ginder、広島大学、The interfacial and free-boundary dynamics of active matter.
- 15) Elliott Ginder、名古屋大学、北海道大学、Multiphase shape optimization in phononic crystal design.
- 16) Elliott Ginder、国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST)、Enveloping in empirical mode decomposition.

b. 産業界等との共同研究

- 1) 長山雅晴、新日鐵住金株式会社、活性汚泥法モデルの高精密化、2016年度～
- 2) 長山雅晴、新日鐵住金株式会社、液相焼結現象の数学モデル開発、2014年度～2015年度
- 3) 長山雅晴、株式会社資生堂、表皮構造モデルの構築、2015年度～
- 4) 西野浩史、東日本高速道路(株)、高速道路の飛来虫対策に関する研究、2015年度～2017年度

c. 国際共同研究

- 1) 西野浩史、ドイツ・コンスタンツ大学、メンターシッププログラム2017-1期、昆虫の匂い空間情報処理についてのMarco Paoli研究員との国際交流研究

d. 外国人研究者の招聘

- 1) Barry Trimmer (Professor、Tafuts University、USA) (2017年6月30日)
- 2) Anthony Scibelli (PhD Candidate、Tafuts University) (2018年1月22日～2月28日)
- 3) Dr. Marco Paoli、Germany、(2017年5月15日～2017年05月26日)
- 4) Joanna Wyszowska、Poland、(2016年4月15日-2017年3月1日)

4.8 予算獲得状況 (研究代表者、分類、研究課題、期間)

a. 科学研究費補助金

- 1) 長山雅晴 (代表)、基盤研究 B 一般、自己駆動系の集団運動に対する数理モデリングとその数理解析、2016～2019 年度
- 2) 長山雅晴 (分担)、基盤研究 A 一般、散逸系における空間局在解の階層構造と頑健性の起源の解明、2014年度～2017年度

- 3) 長山雅晴 (分担)、基盤研究 C 一般、動的システムの分岐過程への数値誤差の依存性解析と新規解適合スキームの開発、2015年度～2017年度
- 4) 長山雅晴 (分担)、基盤研究 C 特設分野、生体内の不均一な場における反応拡散波の伝播機構の解明、2015年度～2017年度
- 5) 青沼仁志 (分担)、基盤研究 A、マルチテレストリアルロコモーションから解き明かす生物の多様な振る舞いの発現機序、2016～2019 年度
- 6) 青沼仁志 (分担)、基盤研究 B、ロボット義足による歩行運動への介入から解き明かす昆虫の脚間協調メカニズム、2016～2018 年度
- 7) 青沼仁志 (分担)、基盤研究 B 特設分野、自切する生物から切り拓くスーパーレジリエントなシステムの設計論、2016～2019 年度
- 8) 秋山正和 (代表)、新学術領域件研究 (研究領域提案型)、「3次元形態を表現する数学的基盤の構築」、2015年度～2020 年度
- 9) 秋山正和 (代表)、若手研究 (B)、「平面内細胞極性に関する統一的数理モデルの構築」、2015～2019 年度
- 10) 秋山正和 (分担)、新学術領域 (研究領域提案型)、生物の3D形態を構築するロジック、2015 年度～2019 年度
- 11) 秋山正和 (分担)、新学術領域 (国際活動支援班)、3D形態ロジックの国際共同研究を加速するバーチャル研究所、2015 年度～2019 年度
- 12) 秋山正和 (分担)、挑戦的萌芽研究、平面内細胞極性の向きを逆転させる未知の機構の解析、2016 年～2017 年度
- 13) 秋山正和 (分担)、基盤研究 B、「組織の力学的基礎を司る第三のPCP制御グループを介した新たなPCP調節機構の解明、2016 年度～2018 年度
- 14) 西野浩史 (代表)、基盤研究 C 一般、明瞭分離された2つの嗅覚経路のシグナルフローの意義の解明、2017～2019 年度
- 15) 西野浩史 (代表) 基盤研究 C 一般、単一嗅覚器による匂い方向検出の神経基盤の解明、2014～2016 年度
- 16) 西野浩史 (分担)、基盤研究 B、カミキリムシにおける基質付着の制御機構の解明、2014～2016 年度
- 17) Elliott Ginder (代表)、基盤研究 C 特設分野、The interfacial and free boundary problems of active matter、2015年度～2018年度
- 18) Elliott Ginder (代表)、若手研究 (B)、変分法を用いた液滴や泡の運動モデルに対する数理解析、2013年度～2015年度

b. 大型プロジェクト・受託研究

- 1) 長山雅晴、JST CREST、数理モデリングを基盤とした数理皮膚科学の創成、2015年度～2020年度
- 2) 青沼仁志、JST、CREST、環境を友とする制御法の創成、リアルタイム運動制御を実現する神経-筋骨格系の生理機構の実験的解明（グループリーダー）2014年度～2019年度
- 3) 青沼仁志（研究代表者） 包括脳ネットワークによる支援、昆虫の行動スイッチングにともなう脳活動の変容、2012年度～2017年度
- 4) Elliott Ginder、 JST PRESTO、 Multiphase shape optimization in phononic crystal design、 2015年度～2018年度
- 6) 長山雅晴、出張講義（札幌西高等学校）、国民との科学・技術対話事業、2016年11月2日
- 7) 長山雅晴、楽しくサイエンス、理系応援キャラバン隊 実験体験ブース参加「界面活性剤を使った運動と数学」、2016年7月17日
- 8) 長山雅晴、北大魅力発見フェスタ（河合塾）、実験・学部紹介ブース参加「界面活性剤を使った運動と数理科学」、2016年6月19日
- 9) 長山雅晴、出張講義（札幌西高等学校）、国民との科学・技術対話事業、2015年12月2日
- 10) 長山雅晴、電子科学研究所一般公開、サイエンストーク、講師、2015年6月6日

4.9 受賞

- 1) 長山雅晴、総長研究賞 優秀賞、2016年度
- 2) 長山雅晴、総長研究賞 奨励賞、2015年度
- 3) M. Shimizu, D. Ishii, H. Aonuma and K. Hosoda: AMAM2017 Outstanding Demo Award, “Frog Cyborg Driven by Biological Muscle Actuators that Packaged Physiological Solution” The 8th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines.
- 4) 古賀 晴華、渡邊 英博、西野 浩史、北條 優、大村 和香子、高梨 琢磨、横張 文男：JSCPB 2017 大会委員長賞 「Comparative study of antennal lobe glomeruli in seven species of termites」 （日本比較生理生化学会） 2017年11月
- 5) H. Mukai, H. Nishino, N. Skals and T. Takahashi : 生物音響学会最優秀発表賞 “Male jewel bug localizes female calling vibrations: directional vibration sensing by chordotonal organs. 生物音響学会 2016年12月
- 6) K. Katoh, N. Takahashi, H. Watanabe, M. Mizunami and H. Nishino : 優秀論文賞（大会委員長賞 “Aggregation pheromone processing in a cockroach brain” JSCPB（日本比較生理生化学会）2016年09月
- 11) 青沼仁志、第9回北大クロスロード交流会「何かの動きの研究」、講師、2018年2月15日
- 12) 青沼仁志、出張講義（札幌西高等学校）、国民との科学・技術対話事業、2017年10月26日
- 13) 秋山正和、GLSC3D講習会、明治大学（東京都中野区）、2017年11月17日
- 14) 秋山正和、3次元計算可視化ライブラリ（GLSC3D）講習会、広島大学（広島県東広島市）、2017年8月7日
- 15) 秋山正和、GLSC3D講習会 講師、広島大学（広島県東広島市）、2016年5月9日
- 16) 秋山正和、サイエンス・カフェ講演、紀伊国屋書店札幌本店（北海道札幌市）、2015年11月19日

4.10 アウトリーチ活動

- 1) 長山雅晴、出張講義（北海道立共和高等学校）、国民との科学・技術対話事業、1月26日
- 2) 長山雅晴、JST 数学キャラバン 第23回拡がりゆく数学 in 北海道（北海道大学）、主催、11月12日
- 3) 長山雅晴、北大魅力発見フェスタ（河合塾）、実験・学部紹介ブース参加「界面活性剤を用いた実験とその数学」、2017年10月1日
- 4) 長山雅晴、JST数学キャラバン 第20回拡がりゆく数学 in 春日井（中部大学）、講師、2017年7月1日
- 5) 長山雅晴、JST数学キャラバン 第18回拡がりゆく数学 in 水戸（水戸第一高等学校）、講師、2016年12月17日