

## 11－1 人間数理研究分野

## 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～)                     |
| 准 教 授            | 小 林 康 明 | (2019. 3～)                     |
| 助 教              | 西 野 浩 史 | (2015. 4～)                     |
| 助 教              | 劉 逸 侃   | (2019. 8～)                     |
| 助 教              | 秋 山 正 和 | (2012. 7～2019. 4、明治大学へ)        |
| 特 任 助 教          | 大 野 航 太 | (2019. 4～)                     |
| 特 任 助 教          | 上 坂 正 晃 | (2017. 4. 1～2019. 3、東京大学へ)     |
| 特 任 助 教          | 後 藤 田 剛 | (2017. 4. 1～2019. 3、名古屋大学へ)    |
| 博士研究員            | 須志田 隆道  | (2016. 4. 1～2019. 3、サレジオ高専へ)   |
| 博士研究員            | 一本嶋 佐理  | (2017. 4～2020. 9、イーピーエス (株) へ) |
| 学術研究員            | 熊 本 淳 一 | (2016. 4～)                     |
| 学術研究員            | 浪 花 啓 右 | (2017. 10～)                    |
| 学術研究員            | 安ヶ平 裕介  | (2019. 1～)                     |
| 学術研究員            | 松 永 哲   | (2020. 7～2021. 2)              |
| 学術研究員            | 岡 本 守   | (2020. 10～2020. 12、(株) 日立製作所へ) |
| 客員研究員            | 中 村 玄   | (2019. 10～)                    |
| 客員研究員            | 西 浦 廉 政 | (2019. 10～)                    |
| 技術補助員            | 堂 前 愛   | (2017. 6～)                     |
| 技術補助員            | 富澤 ゆかり  | (2019. 10～)                    |
| 実験補助員            | 星 野 由 佳 | (2018. 11～)                    |
| 技術補佐員            | 出羽 真樹子  | (2013. 4～2019. 9)              |
| 学 生 (2018年4月～現在) |         |                                |
| 博士課程後期 5名        |         |                                |
| 修士課程 9名          |         |                                |
| 学部生 10名          |         |                                |
| 研究生 1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) 生命系における集団振動現象の解明

さまざまな生命系に現れる集団振動現象を結合振動子系として捉え、振動ダイナミクスの発生メカニズムを解析し、振動現象の生命系における役割について明らかにしていくことを目標とする。空間的に広がった系にたいする振動場の理論と、離散的な系にたいする振幅振動子・位相振動子の理論を用いて具体的な問題にたいする数理モデルを構築して解析を行っていく。

細胞集団の集団振動は同期現象や進行波といった特徴的な時空間構造を持つが、このような集団特有のダイナミクスには細胞間の相互作用が不可欠である。相互作用には隣り合う細胞間にはたらく局所的なものだけでなく、遠く離れた細胞間にはたらく長距離の相互作用もある。細胞外で拡散する化学物質の濃度場を介した相互作用はそのような例であり、細胞全体に均一な場の作用が仮定されることが多い。しかし細胞集団が複雑な3次元形態を持っていれば、細胞集団に作用する場の空間分布は一般に不均一なものになる。このような不均一な場による相互作用を含んだ、より広い集団振動現象を記述する理論的な手法を構築することを目指す。

### (3) 非整数階発展方程式の数学解析

不均質媒質における粒子の特異拡散、細胞膜におけるタンパク質の輸送などの現象において、マルコフ性が破綻し、通常的发展方程式で記述できない場合がある。これらの非マルコフ過程に対し、非局所モデルが数多く提唱されたが、特に 0.5 階, 1.3 階などの時間微分をもつような非整数階発展方程式が注目されている。このような方程式の解の一意存在性などの基礎理論を構築した上、解の漸近挙動や形状など解析のおよび幾何的特徴を解明することを目的とする。同時に、応用上で重要な数値解法 (有限要素法など) を開発し、数値解析を行い数値精度を保証する。一方、解の欠落データから方程式の構成要素である未知な初期値や係数などを決定する逆問題について、順問題の性質に基づき、実用的な問題設定で未知な要素の一意性と条件付き

安定性を証明し、効率的な再構成方法を創出する。さらに、幾つかの側面から非整数階発展方程式と通常的发展方程式の本質的な違いと共通点を見極め、整数階と非整数階の場合を横断する統一な数学理論の確立を目指す。

#### （４）動物の適応的な振る舞いの構成論的理解

時々刻々と変化する環境は、予測することが不可能な無限定な環境といえる。私たち動物は、このような無限定環境の中で状況に応じて適応的に行動を切り替えながら生活している。一方、私たちの生活環境では、計算能力が向上したコンピュータが使われているが、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。

#### （５）高次嗅覚情報処理様式の解析

5感の中で嗅覚の処理様式の研究は最も遅れている。嗅覚の発達した動物では一次嗅覚中枢から高次中枢へ投射するニューロンが複数の並行経路を形成する。しかし、並行経路で処理される情報が高次嗅覚中枢でどう統合処理され、ひとつの行動出力へと結びつくのかは理解されていない。本研究では嗅感覚ニューロンから糸球体を経て記憶中枢（キノコ体）に至るまで2本の明瞭に分かれた並行経路を持つゴキブリを実験モデルとし、並行経路が統合されるキノコ体の葉部における機能構築を単一ニューロンレベルで精査することで、並列経路の機能的意義を理解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

今年度は、表皮バリア機能の恒常性維持の数理解析を中心にする。角層バリア機能についてはこれまで数理解析から恒常性維持のメカニズムを議論してきた。それに加えて今年度から生物学的バリア機能であるタイトジャンクションバリア機能の発現とその恒常性維持を可能とするメカニズムを数理解析を通して研究した。タイ

トジャンクション（TJ）は顆粒層の中の第二層（SG2層）だけに発現することが知られており、ほぼ1層でシート状にバリアを形成している。SG2層だけでTJを発現する数理解析モデルを構築し、どのような仮定をすれば層構造を維持できるのかを考察した。その結果、通常アピカル面にだけTJを発現するのであるが細胞の分化に伴い部分的にベール面にもTJを発現する細胞があれば、ある程度TJバリア機能を維持できることがわかった。また、細胞周期や分裂回数を変化させた場合、TJバリア機能よりも先に角層バリア機能が破綻することも数値計算から示唆された。

### （２）触錯覚現象の数理解析

慶応大学の仲谷正史氏と共同でFishbone触錯覚の起こるメカニズムを解明するための数理解析による理論実験と心理物理学実験を行った。Fishbone触錯覚の要因には2つの現象が関わっていることが示唆された。一つは凸凹刺激の有無であり、もう一つは凸凹刺激の同期性である。特に、ほぼ同時に凸凹刺激を受けると、その刺激によるFishbone触錯覚が消えることを心理学実験で見つけ、それを支持する数理解析の結果を得た。

### （３）表皮幹細胞ダイナミクスと真皮形状変形の相互作用モデル

表皮内部の真皮は外側（表皮側）に向かって多数の突起を持っていることが知られている。基底層と真皮は基底膜と呼ばれる弾性膜で仕切られていて、幹細胞は基底膜と強く接着している。多くの場合に幹細胞は突起の上部に多く存在することが実験で確認されている。真皮形状と幹細胞の分布は部位ごとに明らかな法則性があるが、これを決定する要因が何であるかについては明らかになっていない。幹細胞やTA細胞が基底膜と接着していることから、細胞分裂が真皮の形状に影響を与えることは容易に予想され、この問題を弾性膜としての基底膜と細胞分裂を繰り返して成長する基底層を重ね合わせたときの力学の問題とみなすことができる。実際このような観点から、腸の上皮構造の凹凸が、成長率の違う弾性体の2重層における座屈パターンとして生じることを連続体のモデルによって示した研究がある。ただし座屈によって生じる空間周期的なパターンは上下どちらにも突起を生じるので、突起のできる方向を決める要因は明らかになっていない。

そこで本研究では皮膚における細胞分裂と真皮形状変化のモデルとして、弾性膜とその上で複製を繰り返す粒子の相互作用系を導入し、膜の形状と幹細胞分布の関係を数値シミュレーションによって調べた。我々のモデルは上述の連続体モデルでの座屈パターンと同様に真皮の周期的なパターンを再現することができただけでなく、幹細胞は基底膜の突起上に選択的に分布することも再現できた（図1）。またこのことが幹細胞と基底膜の接着の強さに依存していることも明らかにした。

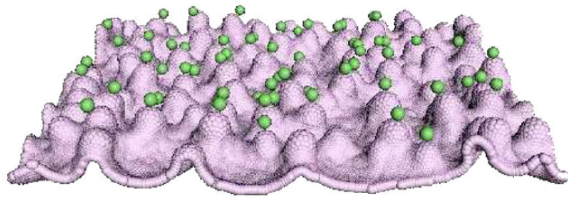


図1 表皮幹細胞ダイナミクスと基底膜の変形の数値シミュレーション

#### (4) マウスの歩行の数理解析

複雑なパターンの足場を配置したホイール上をマウスが歩行するとき、マウスは徐々に足場のパターンを学習し、歩行タイミングのぶれが減少していく。この学習過程でどのような脳内の変化が起こっているかを明らかにする実験が大阪大の木津川氏らのグループにより行われている。そこで歩行ダイナミクスを記述する数理解析モデルを構築し、学習における脳内の変化を数理解析モデル上で歩行のパターンを決定する関数の変化としてとらえることを試みた。構築した数理解析モデルは実験で得られている歩行パターンをよく説明することができた。とくに与えられた足場パターンにたいして、相互作用関数の形に応じて同相と逆相の歩行パターンの遷移や、同相と逆相の共存状態といった実験事実を再現することができた。また実験データからモデルの相互作用関数を最尤推定する手法を提案し、実際に推定が可能であることを示した。

#### (6) 自励振動運動モデルの数理解析

今年度は、化学反応を伴う液滴の集団運動の数理解析モデル化を行った。円環状の細長い水路で複数のサリチル酸エステル (ES) 液滴を浮かべると相互作用しながら複数個の集団を形成し、最終的に停止する。この研究では、液滴が集団形成するメカニズムを数理解析モデリングを通じて解明した。水溶液中の SDS が水面で ES と反応し、減少することで SDS 濃度の壁を形成し、その壁に囲まれた液滴が徐々に集団形成することを示唆した。この現象が横毛管現象による集団形成ではないことも数値計算から示唆した。また、ES 液滴が徐々に停止する現象が起こることによって、ES 液滴が複数の集団を形成することも示唆した。

#### (7) 真皮形状変形の数理解析モデル

真皮における形態形成のメカニズムを探るための数理解析モデル構築を行った。従来の弾性膜を粒子で記述する数理解析モデルでは真皮形状の大変形を伴う形態形成に対処することが困難だった。そこで弾性膜を粒子で記述する数理解析モデルに、応力に応じて粒子を追加するという効果を加えた新しい数理解析モデルを導入した。このモデルの数値計算により、基底膜に一定以上の応力を加えたときに一方向に大変形する膜の様子を再現することが可能になった。このモデルを用いて、基底層で細胞分裂を繰り返す条件のもとで基底膜に一方向の力が加わったときの表皮の変形を数値シミュレ

ーションすることができた。実際、真皮側に一定以上の力を加えたとき、はじめはこの力によって膜が弾性的に変形し、続いて細胞分裂のちからによって塑性変形を起こして表皮が真皮側に貫入する様子を再現することができた。

#### (8) マウスの歩行の数理解析モデル

複雑なパターンの足場を配置したホイール上をマウスが歩行するとき、マウスが足場のパターンを学習していく様子を簡単な位相振動子系によってモデル化することを試みた。モデルを決定する関数として、2つの足の相互作用と、足と足場の相互作用を表す2つの関数のみで歩行を特徴づけることができることを示した。この数理解析モデルから、足場パターンにたいして、相互作用関数の形に応じて同相と逆相の歩行パターンの遷移や、同相と逆相の共存状態といった実験事実を再現できることを示した。また最尤推定を用いて実際の実験データを最もよくフィットする相互作用関数を求めると、学習が進んだ状態では両足の相互作用が弱まり、足と足場の相互作用はsinでよく記述できることが明らかになった。この結果から、学習過程を数理解析モデルの相互作用関数の変化としてよく捉えられることが明らかになった。

#### (9) 非整数階発展方程式の源泉項決定逆問題の数学解析

時間微分  $\alpha \in (0,2)$  をもつ非整数階発展方程式の初期値・境界値問題およびコーシー問題において、外部供給を与える未知な源泉項を決定する逆問題について、源泉項の形と解の観測データの数種類の現実的な組み合わせを研究し、以下の成果を得た。

(a) 源泉項を  $F(x,t) = f(x)R(x,t)$  のような部分的に変数分離の形をするとし、空間成分  $f(x)$  を、解の最終時刻における観測データから決定する問題については、解析フレドホルム理論を用いて条件付き一意性を示した。すなわち、高々可算個の除外点を除き、 $f(x)$  が観測データによって一意に決められる。

(b) 上記と同じ問題設定で、解の部分内部領域における観測データによって源泉項の空間成分  $f(x)$  を数値的に再構成する問題については、離散化された最適化問題の解の存在性、安定性および収束性を示し、反復法に基づく効率的な数値スキームを開発し、空間2次元までの数値例で検証した。

(c) 源泉項の形状が既知であるが、ある未知の軌道  $\gamma(t)$  に沿って移動する場合、全空間あるいは有界領域における有限個の点での観測によって  $\gamma(t)$  を決定する問題については、条件付き安定性および一意性を示した。具体的に、新たに証明した非整数階デュアメル原理をもとに、軌道  $\gamma(t)$  が局所的に動く場合に観測データによるリブシツ安定性を示した。一方、軌道  $\gamma(t)$  が大域的に動く場合、観測点を増やすことで  $\gamma(t)$  が観測データによって一意的に決められることを証明した。



(d) 源泉項が既知のベクトルに沿って平行移動するが、その形状が未知の場合、境界付近の観測データによって形状を特定する問題について、一意性を証明した。微分階数  $\alpha$  が 1 以下のとき、一つの形状を特定できるが、 $\alpha$  が 1 以上の場合、移動方向が異なる二つの形状を同時に特定できることを示した。

#### (10) 適応的な行動発現の制御構造とその設計原理

無限定な環境のなかで時々刻々と行動を適応的に切り替える動物の行動制御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実験的に操作することで、運動や行動の発現基盤である神経系の制御原理や設計原理を探ることができる。昆虫、多足類、棘皮動物、軟体動物など神経系の構造が比較的単純で、個々の細胞が同定可能な無脊椎動物を使い、適応的な行動の発現基盤となる神経系の制御構造とその設計について行動生理学実験やX線マイクロイメージングなどの方法を使い調べた。軟体動物を使った研究では、記憶と学習に着目した。学習は、環境の変化に対応するための、ひとつの適応機能である。軟体動物の学習効率の基盤となる神経メカニズムとして、脳内の神経修飾物質である生体アミンの働きについて明らかにした。昆虫や多足類、そして棘皮動物を使った研究では、動物に普遍的にみられるロコモーションの発現メカニズムに着目し、個体を環境の変化に応じて変容する歩容遷移の制御メカニズムについて研究した(図2)。また、脳の働きを薬理学的に阻害することで、身体と場との相互作用によって生み出される適応的な運動をあぶり出すことを目指した。さらに、身体の高次元な構造に内在した運動制御の設計を理解するため、X線マイクロCTやSPRING-8を使ったX線イメージングを行い、非破壊で身体構造を観察するとともに、そのデータをもとに3Dプリンタを使い3Dモデルを作成し、その動作を解析することで実際の生物の制御機構について考察した。

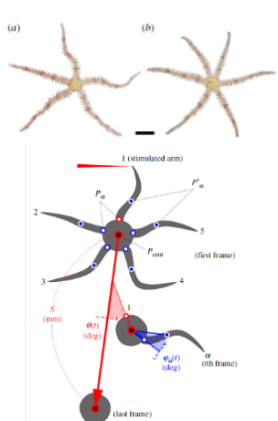


図2：クモヒトデの接触刺激に対する逃避行動、クモヒトデは、身体の中心の盤から放射状に腕を伸ばし、その腕を使って漕ぎように移動する。腕の本数に個体差があることを利用し、刺激に対する移動方向について統計モデルから、行動の制御様式について考察した。

#### (11) 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動きは生存競争を生き抜く上で意義があり、進化の過程で多様な行動を進化させた。素早い行動は、脅威から逃れたり、獲物を捕獲する場面で重要な機能となる。素早い行動を発現するには、刺激を受容してから感覚情報の処理、運動制御信号の生成、運動出力にかかる時間などを短くすることが重要となる。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。このカラクリを探るため、沖縄に生息するアギトアリ属の行動に着目して研究を進めた。アギトアリは、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。その時の顎を閉じる速度は、動物が生み出す動きとして世界最速と言われている。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3)。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。昆虫の筋骨格系の構造を利用した超高速運動を理解することで、弱い力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。



図3：アギトアリの捕食行動と頭部のマイクロCTイメージ

。内側に突起がある大顎を超高速度で閉じて獲物を捕まえる。顎の内転筋と骨格の弾性変形利用して超高速度の運動を生み出している。

#### (12) 昆虫の嗅覚中枢には並列的な情報処理経路がある

昆虫(ワモンゴキブリ)の脳の高次嗅覚中枢(キノコ体)に投射する抑制性ニューロンに着目し、それらがキノコ体出力ニューロンからシナプスを受けて、キノコ体出力ニューロンの匂い応答の強度を適正なレベルに調節するフィ

ードバック経路を担っていることを突き止めた。さらに、キノコ体のフィードバック経路には、匂い受容ニューロンのタイプの違いに由来する2つの並列的な経路があること、また2つの並列経路の間に相互作用があることを見出した。この発見は、動物の嗅覚系において、受容ニューロンから高次中枢に至るまで一貫した並列的な情報処理経路が保たれていることを初めて明らかにしたもので、ヒトなどの哺乳類の脳がもつ嗅覚情報処理系の基本構成の理解にも示唆を与える重要な成果と言える（図5）。



図5：脳内の抑制性ニューロン（マゼンタ）とキノコ体からの出力ニューロン（緑）の二重染色像。神経科学系のトップジャーナルである J. Neurosci. の表紙を飾った。

### (13) 細胞極性の数理解析

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、フーズフィールド法を用いた数理モデルを構築した。

## 3. 今後の研究の展望

### (1) 皮膚構造の数理モデル

数理モデルの評価を行うために、人工皮膚から細胞核をイメージングにより取り出し、細胞核の中心座標から表皮細胞形状を3次元ボロノイ分割で表現する。この結果と数理モデリングから得られる3次元ボロノイ分割細胞形状と比較する。これにより数理モデリングで得られた細胞形状が実際の細胞形状をどの程度再現しているか明らかにする。また、TJバリア機能の恒常性の視点から顆粒細胞形状として14面体が多いことが指摘されており、細胞形状の観点から数理モデルの有効性と適切性の検証を行う。さらに、昨年度に引き続き、角化症の病態再現を進めていく。今年度は汗孔角化症の病態再現をめざし、その病態を再現するために必要な条件を数理モデルから導き、臨床皮膚科医と議論することで汗孔角化症治療法を提案する。乾癬についても同様に病態再現を目指して、数理モデルでの条件を探索していく。

### (2) 触錯覚現象の数理解析

今後、Fishbone触錯覚の心理物理学実験をさらに進め、数理モデルから与えられた示唆を検証していく。また、数理モデルの予測可能性を調べるために、新しい心理物理学実験系を確立する。さらに、触覚数理モデルの研究は国外でも行われており、我々の数理モデルの優位性をどのように確保するのか検討していく。

### (3) 真皮形状変形の数理モデル

現在の数理モデルを検証し、これを用いて毛包形成などの具体的な形態形成の問題に取り組む。毛包形成において変形を誘導する因子や変形の方角を決定する因子を明らかにするための数値計算に取り組んでいく。

### (4) マウスの歩行の数理モデル

現在のモデルではマウスの学習の効果は相互作用関数を通してしか現れないが、実際には特定の足場のパターンを記憶する効果も重要である。モデルを発展させて、足場に対する記憶効果を記述する数理モデルを構築することで、外部の特定の環境に適応した学習と汎用的な学習を区別することを試みる。

### (5) 増殖細胞系の形態形成モデル

表皮幹細胞ダイナミクスと真皮形状変形の相互作用モデルの研究で得られた真皮上の幹細胞の粒子モデルにより、幹細胞ダイナミクスと真皮形状の相互作用の存在が示唆さ

れたが、形態形成の具体的なメカニズムはまだ明らかになっていない。数理的なメカニズムを理解するには理論解析が不可欠であるが、粒子モデルでの解析は困難であり、連続体モデルの構築が求められる。粒子モデルに対応する連続体モデルとして、一様状態からの不安定化を引き起こす項の導出にはすでに成功しているので、まずは完全なモデルの導出を目指す。次に、より広い増殖細胞系の形態形成に適用できる一般的な連続体モデルを構築していくことを試みる。モデルの解析を通して、増殖細胞系の形態形成を支配する原理の解明を目指す。

#### (6) 非整数階拡散-波動方程式に対する数学解析

非マルコフ過程を記述する非局所モデルの一つである非整数階発展方程式のうち、時間微分階数  $\alpha$  が (0,1) 区間にある非整数階拡散方程式が特に注目されてきたが、 $\alpha$  が (1,2) 区間にある非整数階拡散-波動方程式は、発展方程式論および粘弾性モデルにおいて重要であるにもかかわらず、解析上の困難により研究が進まず、その性質が十分に解明されていない。これからは非整数階拡散-波動方程式の初期値・境界値問題に焦点を当て、「通常の拡散・波動方程式と整合した一般理論への展開」、「解の定性的・定量的な特徴づけ」、「非局所性の逆問題への影響を解明」という3大課題に取り込む。今まで非整数階拡散方程式に適用した手法を受け継ぎながら、新たに解の形状や保存則の観点から非整数階拡散-波動方程式の特有な性質を発見し、その性質が逆問題にもたらす効果を評価する。さらに非整数階拡散-波動方程式を(非整数階) 拡散方程式および波動方程式と比較し、類似性と差異を見極め、時間微分  $\alpha$  が (0,2] に渡る発展方程式の全体的な一般的理論へと深化させる。

#### (7) 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、身体の外骨および内部構造が詳細に計測できるようになり、神経系・筋骨格系などの詳細な3次元構造解析を進めている。多くの実験では、乾燥標本を用いて計測しているため、昆虫が実際に運動しているときの筋肉や骨格の様子は観察が困難である。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イメージングすることを目指す。また、Spring-8を利用して、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メカニズムを明らかにする。

#### (8) 嗅覚情報処理における気流情報の役割

匂いを感知するにはこれら運ぶ空気流が不可欠である。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から細胞内記録。染色を行うことで、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)

- 1) Masaaki Uesaka, Ken-Ichi Nakamura, Keiichi Ueda and Masaharu Nagayama, *Stability of stationary points for one-dimensional Willmore energy with spatially heterogeneous term*, Physica D(2021), DOI: 10.1016/j.physd.2020.132812
- 2) S. Tanaka, S. Nakata, M. Nagayama, A surfactant reaction model for the reciprocating motion of a self-propelled droplet, Soft Matter, DOI: 10.1039/d0sm01500h (2020.10)
- 3) J. Fan, M. Nagayama, G. Nakamura, M. Okamoto, A weak solution for a point mass camphor motion. Differential Integral Equations 33 (2020), no. 7-8, 431-443. (2020.8)
- 4) M. Okamoto, T. Gotoda, M. Nagayama, Existence and non-existence of asymmetrically rotating solutions to a mathematical model of self-propelled motion, Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics, No. 37巻3号, P883-P912, DOI 10.1007/s13160-020-00427-x, (2020.9)
- 5) Y. Hirose, Y. Yasugahira, M. Okamoto, Y. Koyano, H. Kitahata, M. Nagayama, Y. Sumino, Two floating camphor particles interacting through the lateral capillary force, Journal of the physical Society of Japan, 89, 074004, DOI: <https://journals.jps.jp/doi/10.7566/JPSJ.89.074004>. (2020,5)
- 6) Owaki D., Aonuma H., Sugimoto Y. and Ishiguro A. (2021) Leg amputation modifies coordinated activation of the middle leg muscles in the cricket *Gryllus bimaculatus*, Scientific Reports 11: 1327. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79319-6>
- 7) D. Owaki, H. Aonuma, Y. Sugimoto and A. Ishiguro (2020 in press) Leg amputation modifies coordinated activation of the middle leg muscles in the cricket *Gryllus bimaculatus*, Scientific Reports doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79319-6>
- 8) H. Aonuma (2020 Oct) Serotonergic control in initiating defensive responses to unexpected tactile stimuli in the trap-jaw ant *Odontomachus kuroiwae*, Journal of Experimental Biology, 223:

- 9) K. Naniwa, Y. Sugimoto, K. Osuka and H. Aonuma (2020 Aug) Novel method for analyzing flexible locomotion patterns of animals by using polar histogram", *Journal of Robotics and Mechatronics*, 32(4): 812-821
- 10) K. Saito, R. Pérez-de la Fuente, K. Arimoto, Y. ah Seong, H. Aonuma, R. Niiyama and Z. You (2020 Jul) Earwig fan designing: biomimetic and evolutionary biology applications", *PNAS*, 117(30): 1-5
- 11) Y. Sugimoto, K. Naniwa, H. Aonuma and K. Osuka (2020 Mar) Microinjection support system for small biological subject", *HardwareX*, e00103
- 12) 西野 浩史 嗅覚研究の進展が拓く新たな薬物療法の可能性 (仮) 「匂いのかたちを把握する昆虫」 *ファルマシア* 57 巻 3 号, 印刷中 2021 年
- 13) H. Nishino, M. Sakai Chap. 7 Tonic Immobility in a Cricket: Behavioral Characteristics, Neural Substrate, and Functional Significance. In *Death-Feigning in Insects Mechanism and Function of Tonic Immobility* (Eds, M. Sakai) In press, 2021
- 14) H. Nishino Chap. 8 Tonic Immobility in a Cricket: Neuronal Underpinnings of Global Motor Inhibition. In *Death-Feigning in Insects Mechanism and Function of Tonic Immobility* (Eds, M. Sakai) In press, 2021
- 15) M. Komatsu, K. Kurihara, S. Saito, M. Domae, N. Masuya, Y. Shimura, S. Kajiyama, Y. Kanda, K. Sugisaki, K. Ebina, O. Ikeda, Y. Moriwaki, N. Atsumi, K. Abe, T. Maruyama, S. Watanabe and H. Nishino: "Management of flying inasects on expressways through an academic-industrial collaboration: evaluation of the effect of light wavelengths and meteorological factors on insect attraction", *Zoological Letters*, 6(15): 1-15 (2020)
- 16) D. Jiang, Y. Liu and D. Wang, Numerical reconstruction of the spatial component in the source term of a time-fractional diffusion equation, *Adv. Comput. Math.*, **46**, Article 43 (2020, May).
- 17) Z. Li, X. Cheng and Y. Liu, Generic well-posedness for an inverse source problem for a multi-term time-fractional diffusion equation, *Taiwanese J. Math.*, **24**, 1005-1020 (2020, August).
- 18) Nishiura, Yasumasa, "Mathematics of the commons", Science Impact Ltd, Volume 2020, Number 4, October 2020, pp.9-11(3), DOI:<https://doi.org/10.21820/23987073.2020.4.9>
- 19) Edgar Avalos, Kazuto Akagi, Yasumasa Nishiura: "Visible fingerprint of X-ray images of epoxy resins using singular value decomposition of deep learning features", *Computational Materials Science*, Volume 186, January 2021, 109996, <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2020.109996>
- 20) Edgar Avalos, Shuangquan Xie, Kazuto Akagi, Yasumasa Nishiura: "Bridging a mesoscopic inhomogeneity to macroscopic performance of amorphous materials in the framework of the phase field modeling", *Physica D: Nonlinear Phenomena*, Vol. 409, 132470, 2020, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physd.2020.132470>
- 21) M. de Hoop, C-L. Lin, G. Nakamura, Holmgren-John unique continuation theorem for viscoelastic systems (to appear in "Time-Dependent Problems" of Springer book series NA).
- 22) G. Nakamura, M. Vashisth, M. Watanabe, Inverse boundary value problem for a non-linear hyperbolic partial differential equation (to appear in *Inverse Problems*).
- 23) J. Fan, Y. Hu, G. Nakamura, Local existence for an isentropic compressible Navier-Stokes-P1 approximate model arising in radiation hydrodynamics. *Bull. Korean Math. Soc.* 57 (2020), no. 4, 921-932.
- 24) J. Fan, G. Nakamura, T. Tang, Uniform regularity for a two-phase model with magneto field and a related system. *J. Math. Phys.* 61 (2020), no. 7, 071508, 10 pp. 7
- 25) J. Fan, L. Jing, G. Nakamura, T. Tang, Regularity criteria for a density-dependent incompressible Ginzburg-Landau-Navier-Stokes system in a bounded domain. *Ann. Polon. Math.* 125 (2020), no. 1, 47-57.
- 26) J. Fan, L. Jing, G. Nakamura, K. Zhao, Qualitative analysis of an integrated chemotaxis-fluid model: global existence and extensibility criterion. *Commun. Math. Sci.* 18 (2020), no. 3, 809-836.
- 27) J. Fan, L. Jing, G. Nakamura, T. Tang, A note on a non-isothermal model for superconductivity. *Bull. Malays. Math. Sci. Soc.* 43 (2020), no. 4, 3027-3034.
- 28) Y. Jiang, J. Fan, S. Nagayasu, G. Nakamura, Local solvability of an inverse problem to the Navier-Stokes equation with memory term. *Inverse Problems* 36 (2020), no. 6, 065007, 14 pp.
- 29) T. Li, S. Kabanikhin, G. Nakamura, F. Wang, D. Xu, An inverse problem of triple-thickness parameters

- determination for thermal protective clothing with Stephan-Boltzmann interface conditions. *J. Inverse Ill-Posed Probl.* 28 (2020), no. 3, 411-424.
- 31) J. Fan, L. Jing, G. Nakamura, T. Tang, Local well-posedness of the isentropic Navier-Stokes-Maxwell system with vacuum. *Math. Methods Appl. Sci.* 43 (2020), no. 8, 5357-5368.
- 32) C. Cârstea, G. Nakamura, L. Oksanen, Uniqueness for the inverse boundary value problem of piecewise homogeneous anisotropic elasticity in the time domain. *Trans. Amer. Math. Soc.* 373 (2020), no. 5, 3423-3443.
- 33) M. Machida, G. Nakamura, Born series for the photon diffusion equation perturbing the Robin boundary condition. *J. Math. Phys.* 61 (2020), no. 1, 013502, 17 pp.
- 34) C. Sun, G. Nakamura, G. Nishimura, Y. Jiang, J. Liu, M. Machida, Fast and robust reconstruction algorithm for fluorescence diffuse optical tomography assuming a cuboid target, *J. Optical Society of America A*, 37 (2020), no. 2, 231-239.
- 35) J. Fan, J. Sun, T. Tang, G. Nakamura, Global small solutions of the compressible nematic liquid crystal flow in a bounded domain. *Ann. Polon. Math.* 124 (2020), no. 1, 47-59.
- 36) Y. Jiang, G. Nakamura, H. Wang, Locating small inclusions in diffuse optical tomography by a direct imaging method, *IMA J. Appl. Math.* 85 (2020), 840-864.
- 37) Y-H. Lin, G. Nakamura, R. Potthast, H. Wang, Duality between range and no-response tests and its application for inverse problems, *Inverse Problems and Imaging*, doi:10.3934/ipi.2020072.
- 38) J. Liu, M. Machida, G. Nakamura, G. Nishimura, C. Sun, On fluorescence imaging: diffusion equation model and recovery of absorption coefficient of fluorophore (to appear in *Science China Mathematics*).
- 39) D. Jiang, Y. Liu and D. Wang, "Numerical reconstruction of the spatial component in the source term of a time-fractional diffusion equation", *Adv. Comput. Math.*, 46(3), 2020, Article 43, DOI: 10.1007/s10444-020-09754-6
- 40) Z. Li, X. Cheng and Y. Liu, "Generic well-posedness for an inverse source problem for a multi-term time-fractional diffusion equation", *Taiwanese J. Math.*, 24(4), 2020, 1005-1020, DOI: 10.11650/tjm/191103
- 41) Sari Ipponjima, Yuki Umino, Masaharu Nagayama, Mitsuhiro Denda, "Live imaging of alterations in cellular morphology and organelles during cornification using an epidermal equivalent model" *Scientific Reports* 10, Article number: 5515(2020) Open Access, Published 26 March 2020.
- 42) J. Cheng, Y. Liu, Y. Wang, M. Yamamoto, "Unique continuation property with partial information for two-dimensional anisotropic elasticity systems", *Acta Math. Appl. Sinica*, 36(1), 2020, 3-17.
- 43) Guanghui Hu, Yikan Liu and Masahiro Yamamoto, "Inverse moving source problems for fractional diffusion(-wave) equations: Determination of orbits, in: J. Cheng et al. (eds.), *Inverse Problems and Related Topics*", Springer Proceedings in Mathematics & Statistics 310, Springer, Singapore, 2020, 81-100.
- 44) Y. Jiang, Y. Hoshi, M. Machida, G. Nakamura, A hybrid inversion scheme combining Markov-chain Monte Carlo and iterative methods for determining optical properties of random media, *Applied Sciences*. 9 (2019), 3500; doi:10.3390/app9173500
- 45) C-L. Lin, G. Nakamura, Unique continuation property for multi-terms time fractional diffusion equations. *Math. Ann.* 373 (2019), no. 3-4, 929-952.
- 46) J. Eom, G. Nakamura, Completeness of representation of solutions for stationary homogeneous isotropic elastic-viscoelastic systems. *Quart. Appl. Math.* 77 (2019), no. 3, 497-506.
- 47) C. Cârstea, G. Nakamura, M. Manmohan, Reconstruction for the coefficients of a quasilinear elliptic partial differential equation. *Appl. Math. Lett.* 98 (2019), 121-127.
- 48) G. Nakamura, H. Wang, Solvability of interior transmission problem for the diffusion equation by constructing its Green function. *J. Inverse Ill-Posed Probl.* 27 (2019), no. 5, 671-701.
- 49) G. Nakamura, K. Tanuma and X. Xu, On the perturbation of Bleustein-Gulyaev waves in piezoelectric media, *Mathematical Analysis of Continuum Mechanics and Industrial Applications III- Proceedings of the international conference CoM-FoS18*
- 50) Hiromichi Itou, Shiro Hirano, Masato Kimura, Victor A. Kovtunenkov, Alexandr. M. Khludnev, R. Kuan, G. Nakamura, S. Satoshi, Strong unique continuation for two-dimensional anisotropic elliptic systems. *Proc. Amer. Math. Soc.* 147

- (2019), no. 5, 2171-2183.
- 51) Y. Jiang, G. Nakamura, Convergence of Levenberg-Marquardt method for the inverse problem with an interior measurement. *J. Inverse Ill-Posed Probl.* 27 (2019), no. 2, 195-215.
  - 52) K. Ikeda, S.-I. Ei, M. Nagayama, M. Okamoto and A. Tomoeda, "Reduced model of a reaction-diffusion system for the collective motion of camphor boats", *Physical Review E* 99, 062208, (2019)
  - 53) K. Ikeda, S.-I. Ei, M. Nagayama, M. Okamoto and A. Tomoeda, Reduced model of a reaction-diffusion system for the collective motion of camphor boats, *Physical Review E* 99, 062208 (2019, June).
  - 54) S. Ipponjima, Y. Umino, M. Nagayama, M. Denda, Live imaging of alterations in cellular morphology and organelles during cornification using an epidermal equivalent model, *Scientific Reports*, 10, 5515 (2020, March).
  - 55) J. Cheng, Y.-K. Liu, Y.-B. Wang, M. Yamamoto, "Unique continuation property with partial information for two-dimensional anisotropic elasticity systems", *Acta Math. Appl. Sin. Engl. Ser.*, 36, 3-17 (2020, January).
  - 56) G. Hu, Y. Liu, M. Yamamoto, "Inverse moving source problems for fractional diffusion(-wave) equations: De-termination of orbits", in: J. Cheng et al. (eds.), *Inverse Problems and Related Topics*, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics 310, Springer, Singapore, 81-100 (2020, February).
  - 57) D. Wakita, Y. Hayase and H. Aonuma, Different synchrony in rhythmic movement caused by morphological difference between five- and six-armed brittle stars, *Scientific Reports*, (9): 8298- (2019, June).
  - 58) T. Kano, D. Kanauchi, H. Aonuma, C. G. Elizabeth and A. Ishiguro, Decentralized control mechanism for determination of moving direction in brittle stars with penta-radially symmetric body, *Frontiers in Neurorobotics*, (13): 66- (2019, August).
  - 59) T. Kano, K. Daichi, T. Ono, H. Aonuma and A. Ishiguro: "Flexible coordination of flexible limbs: Decentralized control scheme for inter- and intra-limb coordination in brittle stars' locomotion", *Frontiers in Neurorobotics*, (13): 104- (2019, December).
  - 60) K. Yasui, T. Kano, E. M. Standen, H. Aonuma, A. Ijspeert and A. Ishiguro, Decoding the essential interplay between central and peripheral control in adaptive locomotion of amphibious centipedes, *Scientific Reports*, 9: 18288- (2019, December).
  - 61) D. Wakita, K. Kagaya and H. Aonuma, A general model of locomotion of brittle stars with a variable number of arms, *Journal of the Royal Society Interface*, 17(162) (2019, December).
  - 62) H. Aonuma, M. Mezheritskiy, B. Boldyshev, Y. Totani, D. Vorontsov, Z. S. Igor, E. Ito and D. Varvara: The role of serotonin in the influence of intense locomotion on the behavior under uncertainty in the mollusk *Lymnaea stagnalis*, *Frontiers in Physiology*, 11: 221- (2020, March).
  - 63) M. Paoli, H. Nishino, E. Couzin-Fuchs and G. C. Galizia, Coding of odour and space in the hemimetabolous insect *Periplaneta americana*, *Journal of Experimental Biology*, The Company of Biologists LTD, 223: jeb218032- (2020).
  - 64) N. Takahashi, H. Nishino, M. Domae and M. Mizunami, Separate but interactive parallel olfactory processing streams governed by different types of GABAergic feedback neurons in the mushroom body of an insect, *Journal of Neuroscience*, Society for Neuroscience, 39 8690-8704 (2019).
  - 65) M. Domae, M. Iwasaki, M. Mizunami and H. Nishino, Functional unification of sex pheromone-receptive glomeruli in the invasive Turkestan cockroach derived from the genus *Periplaneta*, *Neuroscience Letters*, Elsevier, 708(134320): 1-6 (2019).
  - 66) T. Shinoda, A. Nagasaka, Y. Inoue, R. Higuchi, Y. Minami, K. Kato, M. Suzuki, T. Kondo, T. Kawae, K. Saito, N. Ueno, Y. Fukazawa, M. Nagayama, T. Miura, T. Adachi and T. Miyata, "Elasticity-based boosting of neuroepithelial nucleokinesis via indirect energy transfer from mother to daughter", *PLoS Biol.* 16(4), e2004426 (2018, Apr.),
  - 67) S. Nakata, K. Kayahara, M. Kuze, E. Ginder, M. Nagayama and H. Nishimori, "Synchronization of self-propelled soft pendulums", *Soft Matter*, 14, 3791-3798 (2018, Apr.)
  - 68) Y. Tanaka, T. Yasugi, M. Nagayama, M. Sato and S.-I. Ei, "JAK/STAT guarantees robust neural stem cell differentiation by shutting off biological noise", *Scientific Reports*, 8, 12484 (2018, August),
  - 69) Y. Kobayashi, Y. Yasugahira, H. Kitahata, M. Watanabe, K. Natsuga and M. Nagayama, "Interplay between epidermal stem cell dynamics and dermal deformation", *npj Computational Materials*, 4(1), 45 (2018, August)
  - 70) J. Kumamoto, S. Nakanishi, M. Kakita, M. Uesaka, Y. Yasugahira, Y. Kobayashi, M. Nagayama, S. Denda

- and M. Denda, “Mathematical-model-guided development of full-thickness epidermal equivalent”, *Scientific Reports*, 8, 17999(2018, December)
- 71) E. G. Clark, D. Kanauchi, T. Kano, H. Aonuma, D. Briggs and A. Ishiguro, “The function of the ophiuroid nerve ring: how a decentralized nervous system controls coordinated locomotion”, *J. Exp. Biol.* 222, jeb192104, (2018)
  - 72) T. Watanabe, A. Ugajin and H. Aonuma, “Immediate-early promoter-driven transgenic reporter system for neuroethological researches in a hemimetabolous insect” *eNeuro*. 5(4): e0061-18. (2018)
  - 73) H. Aonuma, Y. Totani, M. Sakakibara, K. Lukowiak and E. Ito, “Comparison of brain monoamine content in three populations of *Lymnaea* that correlates with taste-aversive learning ability” *Biophys. Physicobiol.* 15: 129-135. (2018)
  - 74) N. Di Rienzo and H. Aonuma, “Plasticity in extended phenotype increases offspring defense despite individual variation in web structure and behavior” *Animal Behav.* 138: 9-17. (2018)
  - 75) Y. Momohara, H. Aonuma and T. Nagayama, “Tyraminergic modulation of agonistic outcomes in crayfish” *J. Comp. Physiol.* 204(5):465-73. (2018)
  - 76) 園山 貴之, 荻本 啓介, 石橋 敏章, 須田 有輔, 青沼 仁志, 松浦 啓一 “沖縄島東岸の浜比嘉島から得られたアマミホシゾラフグの記載と飼育下での行動” *魚類学雑誌*. 65 (1): 81-84. (2018)
  - 77) A. Matsuda, H. Aonuma, K. Naniwa and S. Kaneko, “Image-based measurement of ultra-fast movement of mandible in trap-jaw ants” *IEEE, 12th France-Japan and 10th Europe-Asia Congress on Mechatronics*, 88-93. (2018)
  - 78) T. Sushida, S. Kondo, K. Sugihara and M. Mimura, “A differential equation model of retinal processing for understanding lightness optical illusions”, *Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics*, 35(1) (2018, March).
  - 79) Y. Yamagishi and T. Sushida, Archimedean Voronoi spiral tilings, *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 51(4), 045203 (2018, January)
  - 80) M. Akiyama, M. Nonomura, A. Tero and R. Kobayashi, Numerical study on spindle positioning using phase field method. *Physical Biology*, Volume 16, Number 1, (2018, November)
  - 81) H. Nishino, M. Domae, T. Takanashi and T. Okajima: “Cricket tympanal organ revisited: morphology, development, and possible functions of the adult-specific chitin core beneath the anterior

tympanal membrane”, *Cell and Tissue Research*, Springer (2019)

- 82) H. Watanabe, Y. Koike, K. Tateishi, M. Domae, H. Nishino and F. Yokohari: “Two types of sensory proliferation patterns underlie the formation of spatially tuned receptive fields in the cockroach *Periplaneta americana*”, *Journal of Comparative Neurology*, Wiley, 526: 2683-2705 (2018)

## 4.2 学術論文（査読なし）

- 1) Masashi Nakatani, Yasuaki Kobayashi, Kota Ohno, Masaaki Uesaka, Sayako Mogami, Zixia Zhao, Takamichi Sushida, Hiroyuki Kitahata, Masaharu Nagayama. “Temporal coherence of mechanical stimulation modulates tactile form perception.” *Nature Communications*. (2020)
- 2) 上坂 正晃, 後藤田 剛, 一本嶋 佐理, 北畑 裕之, 小林 康明, 安ヶ平 裕介, 傳田 光洋, 長山 雅晴, “表皮構造の数理モデルにおける細胞の扁平化と細胞の多面体形状について”, 計算工学講演会論文集, 24(2019)
- 3) 後藤田 剛, 上坂 正晃, 安ヶ平 祐介, 小林 康明, 北畑 裕之, 傳田 光洋, 長山 雅晴, “表皮数理モデルにおける皮膚バリア機能の恒常性”, 計算工学講演会論文集, 24(2019)
- 4) 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, “表皮における顆粒層の安定化とタイトジャンクション形成の数理モデリング”, 計算工学講演会論文集, 23(2018)
- 5) 小林康明, “ノイズのある結合振動子系の位相スリップ”, 数理解析研究所講究録, 2063 (2018) 1-6.
- 6) 秋山 正和, 須志田 隆道, “細胞の極性形成と細胞群の運動に関する数理的アプローチ”, 京都大学数理解析研究所(RIMS) 講究録, 2063(2018)

## 4.3 総説・解説・評論等

- 1) 小林 亮, 青沼 仁志, 岡田 美智男, 石黒 章夫, 大須賀 公一, 石川 将人: “「環境を友とする」を学問しよう”, システム/制御/情報, 「環境を友とする制御法の創成」 特集号, 63(6): 246-253 (2019).
- 2) 青沼 仁志: 「生き物がもつ身体構造と身体運動」, システム/制御/情報, 「環境を友とする制御法の創成」 特集号, 63(6): 223-228 (2019).

## 4.4 著書

- 1) 西野 浩史: 「生物の世界観: 昆虫の振動・音受容とバイオミメティクス」, バイオミメティクス・エコミメティクス -持続可能な循環型社会へ導く技術革新のヒント-, CMC 出版, 印刷中, 2021 年
- 2) 西野 浩史: 「音と振動に対する行動と神経メカニズム」, 生き物と音の事典, 朝倉書店, 7 章(9 番) (2019)



- 3) 西野 浩史 : 「昆虫と動物の聴覚器の収れん進化」, 生き物と音の事典, 朝倉書店, 8章(20番)(2019)
- 4) 西野 浩史 : 「神経回路網における情報処理と統合 (ダイナミックな反射制御)」, 動物学の百科事典, 丸善, 7(14) 分担執筆 (2018)
- 5) 西野 浩史 : 「捨て身の行動」, 動物学の百科事典, 丸善出版, 10: 590-591 分担執筆 (2018)

#### 4.5 講演

##### a. 招待講演 (国際学会)

- 1) 劉 逸侃, “Inverse problems for hyperbolic-type equations with time-dependent principal parts”, Workshop on PDEs in Direct and Inverse Problems 2019, 広島大学 (広島県, 東広島市), 2019年11月29日~30日
- 2) H. Aonuma, “Neurobiology and biomechanics of ultra fast movement in the trap-jaw ant”, The 3rd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (SWARM 2019), Okinawa, Japan, November 20th-22nd, 2019.
- 3) Y. Liu, “Inverse source problems for time-fractional diffusion(-wave) equations, Inverse Problems and Related Fields '19”, Aix-Marseille University (Marseille, France), November 7-8, 2019.
- 4) M. Nagayama, “Mathematical modeling of a self-propelled motion, and its application”, China-Japan Workshop for Younger Researchers on Nonlinear Diffusion Equations, Capital Normal University (Beijing, China), October 26th-28th 2019.
- 5) M. Nagayama, M. Okamoto, T. Gotoda, Y. Yasugahira, Y. S. Ikura, S. Nakata, “Theoretical analysis of a mathematical model for a self-propelled motion”, ReaDiNet 2019, Mathematical analysis for biology and ecology (Nancy, France), September 23rd-25th, 2019.
- 6) Aonuma H. “Modeling of group size dependent aggression in the cricket”, 9th Federation of the Asian and Oceanian Physiological Society Congress (FAOPS 2019), Kobe, Japan. Mar. 2019.
- 7) M. Uesaka, G. Nakamura, M. Nagayama, “The well-posedness and its short-time asymptotics of the reaction-diffusion-particle model for the camphor motion in two dimension”, 2018 China-Japan Workshop on Nonlinear Diffusion Problems, Shanghai Normal University, Shanghai, China, November 3rd-4th, 2018.
- 8) M. Uesaka, K.-I. Ueda, K.-I. Nakamura, Y. Kobayashi, M. Nagayama, “A variational problem arising from the modelling of epidermal basement membrane and its analysis”, A3 Foresight Program The 5th Joint Workshop, Mathematics of Biology, Fluid Dynamics and Material Sciences, Lakai Sandpine Hotel, Gangneung, Korea, October 17th-20th, 2018.
- 9) M. Nagayama, M. Okamoto, Y. Yasugahira, K. Nishi, Y. S. Ikura, S. Nakata, “Theoretical analysis for a mathematical model of a self-propelled motion”, A3 Foresight Program The 5th Joint Workshop, Mathematics of Biology, Fluid Dynamics and Material Sciences, Lakai Sandpine Hotel, Gangneung, Korea, October 17th-20th, 2018.
- 10) M. Nagayama, “Theoretical analysis of a mathematical model for a self-propelled motion, The 12th AIMS Conference on Dynamical systems”, Differential Equations and Applications, Taipei, Taiwan, July 1st - 5th, 2018.
- 11) M. Akiyama, T. Ayukawa, M. Yamazaki, “A Mathematical Model of Planar Cell Polarity”, 2018 Annual Meeting of the Society for Mathematical Biology & the Japanese Society for Mathematical Biology. Sydney, July 8-12, 2018.
- 12) M. Akiyama, T. Sushida, H. Mori, S. Ishida, H. Haga, “A mathematical model of collective cell migrations based on cell polarity”, Japan-Toronto Morphogenesis Symposium (3D Morphologic). Toronto, July 16-17, 2018.
- 13) Aonuma H. “Oscillator model to understand group size dependent behavior in the cricket”, The 3rd A3 International Workshop for Mathematical and Life Sciences, Hiroshima Univ., Japan. May 2018.

##### b. 招待講演 (国内学会)

- 1) 青沼 仁志, “X線マイクロCTを使ったイメージングから紐解く”, 第14回NIBBバイオイメージングフォーラム, 愛知県岡崎市基礎生物学研究所(web), Japan, 2020年11月6日
- 2) 青沼 仁志, “動物の多様な振る舞いの源泉を求めて”, 計測自動制御学会・自律分散サマースクール, 東京 (web), Japan, 2020年8月31日
- 3) 青沼 仁志, “X線マイクロイメージングから切り拓く昆虫の運動制御メカニズム”, 第89回日本動物学会シンポジウム「シンクロトン放射光X線は動物学どう役立つ? -SPRING-8 先端利用技術ワークショップ-」, 大阪市立大学 (大阪府, 大阪市), 2019年9月13日.

- 4) 須志田 隆道, “反応拡散方程式による網膜情報処理の階層モデルと残像錯視”, 反応拡散系のパターン形成とその応用, 岡山大学, 2019年2月17日
- 5) 須志田隆道, “ショウジョウバエ胚の後腸捻転現象に対する三次元バーテックスモデル”, 数理科学と生命科学の融合, 北海道大学, 2019年1月17日
- 6) 青沼 仁志, “昆虫で見られる集団サイズに応じた攻撃性のモデル化”, 電子情報通信学会 NC&NLP研究会, 北海道大学 (札幌), 2019年1月
- 7) 秋山 正和, 須志田 隆道, 芳賀 永, “細胞の集団運動を表現するための自己駆動粒子系の数理モデル”, 第 41 回日本分子生物学会年会, パシフィコ横浜, 2018 年 11 月 28 日~30 日.
- 8) 稲木 美紀子, 秋山 正和, 須志田 隆道, 松野 健治, “キラルな細胞変形によって駆動される組織自律的な内臓捻転の機構”, 第 41 回日本分子生物学会年会, パシフィコ横浜, 2018 年 11 月 28 日~30 日.
- 9) 須志田 隆道, “反応拡散方程式による網膜情報処理の階層モデルと残像錯視”, 反応拡散系の理論と応用~現状と未来~, 北海道大学, 2018 年 10 月 13 日
- 10) 秋山 正和, “生命の形はどのような仕組みで決まっているのか? —数学で解き明かそう!—”, 公開講座「データサイエンスが切り拓く生命科学・生体工学の未来」, 大阪大学基礎工学研究棟, 2018 年 9 月 25 日~27 日
- 11) 長山 雅晴, “非線形現象の数理モデルを作ろう”, 日本数学会秋期総合分科会 (市民講演会), 岡山大学 (岡山県, 岡山市), 2018年9月23日.
- 12) 秋山 正和, 須志田 隆道, 芳賀 永, “ショウジョウバエ後腸の捻転現象を 3D バーテックスダイナミクスモデルから考える”, 第 56 回日本生物物理学会年会, 岡山大学津島キャンパス, 2018 年 9 月 15 日~17.
- 13) 青沼 仁志, “X線マイクロイメージングから切り拓く昆虫の運動制御のメカニズム”, 第89回日本動物学会シンポジウム「シンクロトロン放射光X線は動物学どう役立つ? -SPRING-8先端利用技術ワークショップ-», 札幌コンベンションセンター (札幌), 2018年9月 (震災のため中止, 書面開催)
- 14) 西野 浩史, “昆虫の聴覚・振動受容器-発見と観察のテクニック”, 昆虫分類学若手懇談会シンポジウム「昆虫の発音と振動-その多様なアプローチ」, 名城大学天白キャンパス (名古屋市), Japan (2018-09)
- 15) 秋山 正和, “細胞の集団運動と 3 次元形態形成に対する数理的アプローチ”, 北海道大学電子科学研究所附属社会創造数学研究センター 公開シンポジウム「数理連携-知のオープンファシリティー-の現状と未来」, 北海道大学, 2018 年 8 月 24 日-25 日.
- 16) 西野 浩史, “昆虫の生理メカニズムに基づく環境にやさしい飛来虫制御-見え始めた光-», SILaWay 合同報告会, NEXCO 東日本北海道支社, Japan (2018-04)

#### c. 一般講演 (国際学会)

- 1) Satoshi Matsunaga, Mamoru Okamoto, Toshikazu Fukushima, Jun-ichi Nakagaya and Masaharu Nagayama, “Mathematical Modeling for Biological Wastewater Treatment”, The 21th RIES-HOKUDAI International Symposium “Ma” (Poster Presentation), Online, Hokkaido University (Sapporo), December 10th-11th, 2020,
- 2) Yasuaki Kobayashi, Yusuke Yasugahira, Masaharu Nagayama, “Mathematical modeling of plastic deformation of the basement membrane”, The 21st RIES-Hokudai International Symposium, online, December 10, 2020.
- 3) Y. Liu, “Uniqueness for determining profiles of moving sources in (time-fractional) evolution equations”, The Workshop on Theoretical and Computational Analyses for Inverse Problems, オンライン開催, 2020年12月5日.
- 4) Y. Liu, “Inverse moving source problems on determining profiles in (time-fractional) evolution equations”, Workshop on Inverse Problems, オンライン開催, 2020 年 10 月 25 日.
- 5) Y. Liu, “Uniqueness and numerical schemes for an inverse moving source problem for (time-fractional) evolution equations”, 4th Conference on Numerical Methods for Fractional-Derivative Problems, オンライン開催, 2020 年 10 月 22 日~24 日.
- 6) Y. Liu, “Inverse moving source problems for (time-fractional) diffusion(-wave) equations”, 偏微分方程式による逆問題解析とその周辺, 京都大学 (京都府, 左京区), 2020年1月8日~10 日.
- 7) K. Naniwa and H. Aonuma, “Quantitative evaluation of phase difference among legs during walking and swimming in crickets (*Gryllus bimaculatus*)”, The 20th RIES-HOKUDAI International Symposium, Sapporo, Japan, December 4th, 2019.
- 8) Y. Liu, “Inverse source problems for time-fractional evolution equations”, 2019 International Symposium of RIES and CEFMS, Hokkaido University (Sapporo, Japan), December 3-4, 2019.
- 9) Y. Kobayashi, Y. Yasugahira, H. Kitahata, M. Watanabe, K. Natsuga, M. Nagayama, “Interplay between epidermal stem cell dynamics and dermal deformation”, RIES-NCTU Joint Symposium, Hokkaido University Conference Hall, Sapporo, Japan, December 3-4, 2019.

- 10) Kohta Ohno, "Mathematical model for the epidermis", The 20th RIES-HOKUDAI International Symposium "Ki" (Poster Presentation), Hokkaido University Conference Hall (Sapporo, Japan), December 2nd-3rd, 2019.
- 11) M. Okamoto, T. Gotoda, M. Nagayama, "Existence and non-existence of the asymmetrical rotating solution of the reaction-diffusion particle model", The 20th RIES-HOKUDAI International Symposium "Ki" (Poster Presentation), Hokkaido University Conference Hall (Sapporo, Japan), December 2nd-3rd, 2019.
- 12) Shen Anlu, M. Nagayama, "Analysis of the phase-field model of camphor movement", The 20th RIES-HOKUDAI International Symposium "Ki" (Poster Presentation), Hokkaido University Conference Hall (Sapporo, Japan), December 2nd-3rd, 2019.
- 13) Y. Liu, "Inverse source problems for time-fractional evolution equations", The 20th RIES-HOKUDAI International Symposium "Ki", Hokkaido University (Sapporo, Japan), December 2-3, 2019.
- 14) Y. Kobayashi, Y. Yasugahira, H. Kitahata, M. Watanabe, K. Natsuga, M. Nagayama, "Interplay between epidermal stem cell dynamics and dermal deformation", The 20th RIES-Hokudai International Symposium "Ki", Hokkaido University Conference, Hall, Sapporo, Japan, December 2-3, 2019.
- 15) Y. Liu, General "introduction to inverse problems for time-fractional evolution equations, Forum on Inverse Problems", Zhejiang University (Hangzhou, China), November 17-18, 2019.
- 16) Y. Liu, "Unique determination of several coefficients in a fractional diffusion(-wave) equation by a single measurement", Workshop on Optimal Control and Optimization for Nonlocal Models, Johannes Kepler University Linz (Linz, Austria), October 28-30, 2019.
- 17) M. Okamoto, T. Gotoda, M. Nagayama, "Existence and non-existence of the asymmetrical rotating solution of the reaction-diffusion particle model", Chi-na-Japan Workshop for Younger Researchers on Nonlinear Diffusion Equations, Capital Normal University (Beijing, China), October 26th-28th 2019.
- 18) Y. Liu, "Determination of an orbit in the moving source of a (time-fractional) diffusion(-wave) equation", The 5th International Symposium on Inverse Problems, Design and Optimization, Holiday Inn Riverside (Tianjin, China), September 24-26, 2019.
- 19) M. Okamoto, T. Gotoda, M. Nagayama, "Existence and non-existence of the asymmetrical rotating solution of the reaction-diffusion particle model (Poster)", ReaDiNet 2019, Mathematical analysis for biology and ecology (Nancy, France), September 23rd-25th, 2019.
- 20) A. Matsuda\*, H. Aonuma and S. Kaneko, "A structural analysis based on kinetic model of trap-jaw in *Odontomachus*", AISM2019 (The 7th Asia International Symposium on Mechatronics), Hangzhou dianzi University, China, September 19th-22nd, 2019.
- 21) Y. Totani\*, H. Aonuma, J. Nakai and E. Ito, "Insulin rescues memory impairment caused by the increased 5-HT content in the central nervous system in *Lymnaea*", The 10th IBRO World Congress of Neuroscience, Daejeon, Korea (the Democratic People's Republic of), September 21st-25th, 2019.
- 22) Y. Liu, "Orbit determination in an inverse moving source problem for fractional diffusion(-wave) equations, 若手研究集会「波動・振動・流れの制御と逆問題 -理論と数値計算-」, 東京理科大学 (東京都, 新宿区), 2019年8月26日~27日.
- 23) K. Naniwa\*, Y. Sugimoto, K. Osuka and H. Aonuma, "Defecation initiates a stereotyped behavior in the cricket *Gryllus bimaculatus*", The 9th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2019), Lausanne, Switzerland, August 20th-23rd, 2019.
- 24) D. Wakita\* and H. Aonuma, "Attempt to identify body structure generating a balloon-like rhythmic movement in the green brittle star", 1st Symposium on Invertebrate Neuroscience, Balaton Limnological Institute, Tihany, Hungary, August 13rd-17th, 2019.
- 25) V. Dyakonova\*, G. Sultanachmetov, H. Aonuma, Y. Totani, M. Mazheritskiy, D. Vorontsov, E. Ito and T. Dyakonova, "Interplay of past and present behavioral experiences in the molluscan CNS", 1st Symposium on Invertebrate Neuroscience, Balaton Limnological Institute, Tihany, Hungary, August 13rd-17th, 2019.
- 26) Y. Totani\*, H. Aonuma, J. Nakai and E. Ito, "Effect of 5-HT and insulin on learning and

- memory”, 1st Symposium on Invertebrate Neuroscience, Balaton Limnological Institute, Tihany, Hungary, August 13rd-17th, 2019.
- 27) M. Okamoto, T. Gotoda, M. Nagayama, “Non-trivial traveling wave solution of a particle-reaction-diffusion equation”, Mini Workshop of Dynamics of localized patterns for reaction-diffusion systems and related topics, Hokkaido University (Hokkaido, Sapporo), August 9th, 2019.
  - 28) M. Nagayama, Y. Kobayashi, K. Ohno, Y. Yasugahira, T. Gotoda, M. Uesaka, M. Denda, S. Nakata, H. Kitahata, “Mathematical modeling for the homeostasis of the epidermal barrier function” (Mini-Symposium), International Congress on Industrial and Applied Mathematics (Valencia, Spain), July 15th-19th, 2019
  - 29) H. Aonuma, “Mechanism underlying generating ultra fast movement in insect”, 9th International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM 2019), Valencia, Spain, July 15th-19th, 2019.
  - 30) Y. Kobayashi, “Interplay between epidermal stem cell dynamics and dermal deformation”, Japan-Singapore Skin Research Conference 2019, Clinical Sciences Building, Novena, Singapore, April 10-12, 2019
  - 31) Aonuma H. “Modeling of group size dependent aggression in the cricket”, 9th Federation of the Asian and Oceanian Physiological Society Congress (FAOPS 2019), Kobe, Japan. Mar. 2019.
  - 32) M. Uesaka, G. Nakamura, M. Nagayama, “The well-posedness and its short-time asymptotics of the reaction-diffusion-particle model for the camphor motion in two dimension”, 2018 China-Japan Workshop on Nonlinear Diffusion Problems, Shanghai Normal University, Shanghai, China, November 3rd-4th, 2018.
  - 33) M. Uesaka, K.-I. Ueda, K.-I. Nakamura, Y. Kobayashi, M. Nagayama, “A variational problem arising from the modelling of epidermal basement membrane and its analysis”, A3 Foresight Program The 5th Joint Workshop, Mathematics of Biology, Fluid Dynamics and Material Sciences, Lakai Sandpine Hotel, Gangneung, Korea, October 17th-20th, 2018.
  - 34) M. Nagayama, M. Okamoto, Y. Yasugahira, K. Nishi, Y.S. Ikura, S. Nakata, “Theoretical analysis for a mathematical model of a self-propelled motion”, A3 Foresight Program The 5th Joint Workshop, Mathematics of Biology, Fluid Dynamics and Material Sciences, Lakai Sandpine Hotel, Gangneung, Korea, October 17th-20th, 2018.
  - 35) M. Akiyama, T. Sushida, H. Mori, S. Ishida, H. Haga, “A mathematical model of collective cell migrations based on cell polarity”, Japan-Toronto Morphogenesis Symposium (3D Morphologic). Toronto, July 16-17, 2018.
  - 36) M. Akiyama, T. Ayukawa, M. Yamazaki, “A Mathematical Model of Planar Cell Polarity”, 2018 Annual Meeting of the Society for Mathematical Biology & the Japanese Society for Mathematical Biology. Sydney, July 8-12, 2018
  - 37) M. Nagayama, “Theoretical analysis of a mathematical model for a self-propelled motion”, The 12th AIMS Conference on Dynamical systems, Differential Equations and Applications, Taipei, Taiwan, July 1st - 5th, 2018.
  - 38) Aonuma H., “Oscillator model to understand group size dependent behavior in the cricket”, The 3rd A3 International Workshop for Mathematical and Life Sciences, Hiroshima Univ., Japan, May 2018.
- d. 一般講演（国内学会）
- 1) 岡本 守, 後藤田 剛, 長山 雅晴, “粒子反応拡散モデルの数学的取り扱いについて”, 応用数学合同研究集会（オンライン）, 龍谷大学理工学部（滋賀県, 大津市）, 2020年12月18日～20日,
  - 2) Minsoo Kim, 岡本 守, 安ヶ平 祐介, 中田 聡, 田中 晋平, 小林 康明, 長山 雅晴, “A mathematical model for clustering of oil droplets on a surfactant solution”, 応用数学合同研究集会（オンライン）, 龍谷大学（滋賀県, 大津市）, 2020年12月18日～20日,
  - 3) 松永 哲, 岡本 守, 福島 寿和, 中川 淳一, 長山 雅晴, “微生物を用いた污水处理の数値モデル”, 応用数学合同研究集会（オンライン）, 龍谷大学（滋賀県, 大津市）, 2020年12月18日～20日,
  - 4) 大野 航太, 小林 康明, 熊本 淳一, 長山 晴, “表皮構造の数値モデルにおける基底膜形状と培養皮膚への応用”, 応用数学合同研究集会（オンライン）, 龍谷大学（滋賀県, 大津市）, 2020年12月18日～20日
  - 5) G. Hu, 劉 逸侃, M. Yamamoto, “（時間非整数階）発展方程式における移動する源泉項の形状決定について”, 2020年度応用数学合同研究集会, オンライン開催, 2020年12月18～20日.
  - 6) 長山 雅晴, 佐藤 優祐, 中田 聡, “自励往復運動する自己駆動体に対する数値モデリング”, 日本数学会 2020年度秋季総合分科会（オンデマンド）, 熊

- 本大学（熊本県，熊本市），2020年9月22日～25日
- 7) 大野 航太，安ヶ平 祐介，北畑 裕之，熊本 淳一，夏賀 健，傳田 光洋，長山 雅晴，“バリア機能を有する表皮数理モデルとその応用”，日本応用数理学学会2020年度年会（オンライン），愛媛大学（愛媛県，松山市），2020年9月8日～10日
  - 8) 小林 康明，安ヶ平 祐介，長山 雅晴，“真皮の塑性変形と形態形成の数理モデル構築”，2020年度応用数学合同研究集会2020，オンライン，2020年12月18日
  - 9) K. Yasui, T. Kano, E. M. Standen, H. Aonuma, A. J. Ijspeert and A. Ishiguro, “Towards understanding adaptive motor control mechanisms underlying walking and swimming in centipedes”, The 42nd Annual Meeting of The Japanese Society for Comparative Physiology and Biochemistry, 山形大学(山形県, 山形市), 2020年11月23日
  - 10) D. Owaki and H. Aonuma, “Gait recovery with prosthetic legs in the cricket after leg amputation”, The 42nd Annual Meeting of The Japanese Society for Comparative Physiology and Biochemistry, 山形大学(山形県, 山形市), 2020年11月23日
  - 11) D. Jiang, 劉 逸侃, D. Wang, “非整数階時間微分をもつ拡散方程式における源泉項の空間成分の数値再構成について”, 日本応用数理学学会2020年度年会, オンライン開催, 2020年9月8日～10日.
  - 12) 小林 康明，安ヶ平 祐介，大野 航太，長山 雅晴，“真皮の塑性変形と形態形成の数理モデル構築”，日本応用数理学学会2020年度年会，オンライン，2020年9月8日～10日
  - 13) 浪花 啓右，青沼 仁志，“神経が切断されたクロコオロギの歩行・遊泳における脚間位相関係”，計測自動制御学会第32回自律分散システムシンポジウム，芝浦工業大学（東京都），2020年2月24日
  - 14) 劉 逸侃, “Unique continuation property for two-dimensional anisotropic elasticity systems with partial information”, 応用数学合同研究集会, 龍谷大学（滋賀県，大津市），2019年12月12日～14日.
  - 15) 岡本 守，後藤田 剛，長山 雅晴，“Existence and non-existence of the asymmetrical rotating solution of the reaction-diffusion particle model”, 応用数学合同研究集会, 龍谷大学(滋賀県, 大津市), 2019年12月12日～14日.
  - 16) 大野 航太，小林 康明，後藤田 剛，安ヶ平 祐介，北畑 裕之，長山 雅晴，“表皮構造の数理モデルを用いた皮膚疾患への応用”，応用数学合同研究集会，龍谷大学（滋賀県，大津市），2019年12月12日～14日.
  - 17) 小林 康明，郡 宏，木津川 尚史，“マウスの歩行パターンの数理モデル”，応用数学合同研究集会，龍谷大学（滋賀県大津市），2019年12月12日
  - 18) 熊本 淳一，長山 雅晴，傳田光洋，“数理モデルを利用したヒト培養表皮モデルの高機能化”，日本応用数理学学会2019年度年会，東京大学（東京都，目黒

区），2019年9月4日.

- 19) 小林 康明，後藤田 剛，長山 雅晴，“表皮内タイトジャンクション形成の数理モデル”，日本応用数理学学会2019年度年会，東京大学駒場キャンパス（東京都目黒区），2019年9月4日
- 20) 岡本 守，後藤田 剛，長山 雅晴，“Existence and non-existence of the asymmetrical rotating solution of the reaction-diffusion particle model”，日本応用数理学学会，東京大学（東京都，目黒区），2019年9月3日～5日.
- 21) 松田 朝陽，青沼 仁志，金子 俊一，“アギトアリの大量の超高速運動解析のための画像計測手法”，2019年度 精密工学会 北海道支部 学術講演会，函館工業高等専門学校（北海道，函館市），2019年8月31日.
- 22) 松田 朝陽，青沼 仁志，金子 俊一，“アギトアリの大量の超高速運動計測のための回転照合法”，SSII2019(The 25th Symposium on Sensing via Image Information), パシフィコ横浜アネックスホール(神奈川県, 横浜市), 2019年6月12日～14日.
- 23) 後藤田 剛，上坂 正晃，安ヶ平 祐介，小林康明，北畑 裕之，傳田 光洋，長山 雅晴，“表皮数理モデルにおける皮膚バリア機能の恒常性”，第24回計算工学講演会，ソニックシティ（埼玉県，さいたま市），2019年5月29日～31日

#### e. 研究会・シンポジウム・ワークショップなど

- 1) 森 篤志，岡本 守，長山 雅晴，“体積保存反応拡散系による自己駆動モデル近似”，明治非線型数理セミナー・秋の学校（オンライン），明治大学（新宿区），2020年11月22日～24日，
- 2) Masaharu Nagayama(invited), “Mathematical modeling of epidermal structure”, JSPS Core-to-Core Program 「Establishing International Research Network of Mathematical Oncology」(Online), Osaka University (Osaka), 26th-28th, October, 2020,
- 3) 松永 哲，岡本 守，長山 雅晴，“微生物を用いた工業排水処理の数理モデル”（ポスター発表），第6回北大・部局横断シンポジウム「生命科学与物質化学の融合を目指して！」（オンライン），2020年10月19日
- 4) 岡本 守，後藤田 剛，長山 雅晴，“On a mathematical treatment of a particle-reaction-diffusion model”，応用数理研究会，北海道大学電子科学研究所（北海道，札幌市），2020年9月5日
- 5) 松永 哲，岡本 守，長山 雅晴，“数理モデルを用いた工業排水処理プロセスの性能予測について”，応用数理研究会，北海道大学電子科学研究所（北海道，札幌市），2020年9月5日
- 6) 大野 航太，安ヶ平 祐介，小林 康明，長山 雅晴，“表皮数理モデルとその応用”，応用数理研究会，北海道大学電子科学研究所（北海道，札幌市），2020年9月5日

- 7) 長山 雅晴, 森 篤志, 岡本 守, “変形する自己駆動体運動を記述する数理モデルを目指した Phase-Field 近似について”, 非線形現象の数値シミュレーションと解析に関する研究情報交流会, 北海道大学理学部 (北海道, 札幌市), 2020 年 3 月 5 日~6 日.
- 8) 長山 雅晴, 小林 康明, 大野 航太, 安ヶ平 祐介, 後藤田 剛, 上坂 正晃, 傳田 光洋, 堤 も絵, 後藤 真紀子, 熊本 淳一, 一本嶋 佐理, 中田 聡, 北畑 弘之, “表皮の数理モデル”, 反応拡散系と実験の融合 3, 石川県政記念しいのき迎賓館 (石川県, 金沢市), 2020 年 2 月 19 日~20 日.
- 9) 岡本 守, 森 篤志, 長山 雅晴, “自己駆動系モデルに対する体積保存フェーズフィールド方程式近似”, 北陸応用数理研究会 2020, 石川県政記念しいのき迎賓館 (石川県, 金沢市), 2020 年 2 月 17 日~18 日.
- 10) 岡本 守, 後藤田 剛, 長山 雅晴, “樟脳円板の運動を記述する数理モデルに対する数学解析”, 北陸応用数理研究会 2020, 石川県政記念しいのき迎賓館 (石川県, 金沢市), 2020 年 2 月 17 日~18 日.
- 11) 大野 航太, 小林 康明, 安ヶ平 祐介, 傳田 光洋, 長山 雅晴, “表皮構造モデルを用いた皮膚疾患再現”, 北陸応用数理研究会 2020, 石川県政記念しいのき迎賓館 (石川県, 金沢市), 2020 年 2 月 17 日~18 日.
- 12) 小林 康明, 郡 宏, 木津川 尚史, “マウスの歩行パターン学習の数理モデル”, 北陸応用数理研究会 2020, 石川県政記念しいのき迎賓館 (石川県金沢市), 2020 年 2 月 17 日~18 日
- 13) 劉 逸侃, “Inverse moving source problems for (time-fractional) evolution equations,” 北陸応用数理研究会 2020, 石川県政記念しいのき迎賓館 (石川県, 金沢市), 2020 年 2 月 17 日~18 日.
- 14) 劉 逸侃, “非整数階発展方程式とその逆問題について”, 数学教室談話会, 北海道大学 (北海道, 札幌市), 2020 年 2 月 4 日.
- 15) 小林 康明, 郡 宏, 木津川 尚史, “マウスの歩行パターン学習の数理モデル”, 数学パワーが世界を変える 2020, 秋葉原コンベンションホール (東京都千代田区), 2020 年 2 月 1 日
- 16) N. Takahashi, H. Nishino and M. Mizunami, “Separate but interactive parallel olfactory processing streams governed by different types of GABAergic feedback neurons in the mushroom body of cock-roaches”, JSCPB2019, 東京大学 (駒場リサーチキャンパス), Japan, 2019 年 11 月 30 日~12 月 1 日
- 17) K. Kurihara, T. Ito, Y. Sato, M. Domae, M. Komatsu, N. Masuya and H. Nishino, “Flying insect management in summer highways through academic-industrial collaboration”, JSCPB2019, 東京大学 (駒場リサーチキャンパス), Japan, 2019 年 11 月 30 日~12 月 1 日
- 18) H. Watanabe, Y. Otsuka, M. Domae, H. Ai and H. Nishino, “Postembryonic development of projection neurons in the cockroach antennal lobe, JSCPB2019, 東京大学 (駒場リサーチキャンパス), Japan, 2019 年 11 月 30 日~12 月 1 日
- 19) Y. Liu, “A concise review on inverse problems for time-fractional evolution equations, Sem-inar”, East China University of Technology (Nan-chang, China), November 20, 2019.
- 20) 小林 康明, 安ヶ平 祐介, 北畑 裕之, 渡邊 美佳, 夏賀 健, 長山 雅晴, “表皮幹細胞ダイナミクスと真皮形状変形の相互作用”, 第 5 回北海道大学部局横断シンポジウム, 北海道大学医学部学友会館フラテホール (北海道札幌市), 2019 年 11 月 6 日
- 21) 熊本 淳一, 長山 雅晴, 傳田 光洋, “数理モデルを利用したヒト培養表皮モデルの高機能化”, 研究会「皮膚科学と数理科学の接点», 北海道大学電子科学研究所 (北海道, 札幌市), 2019 年 10 月 4 日
- 22) 大野 航太, 小林康明, 後藤田 剛, 上坂 正晃, 安ヶ平 祐介, 北畑 裕之, 傳田 光洋, 長山 雅晴, “表皮内タイトジャンクション形成の数理モデル”, 研究会「皮膚科学と数理科学の接点», 北海道大学電子科学研究所 (北海道, 札幌市), 2019 年 10 月 4 日.
- 23) M. Nagayama (invited), “Mathematical modeling for a self-propelled boat with chemical reaction, Colloquium”, Normal University (Beijing, China), October 25th 2019,
- 24) 小林 康明, 安ヶ平 祐介, 北畑 裕之, 渡邊 美佳, 夏賀 健, 長山 雅晴, “表皮幹細胞ダイナミクスと真皮形状変形の相互作用”, 皮膚科学と数理科学の接点, 北海道大学電子科学研究所 (北海道札幌市), 2019 年 10 月 4 日
- 25) 一本嶋 佐理, “ヒト表皮モデルを用いたケラチノサイト最終分化過程の 3 次元ライブイメージング”, 皮膚科学と数理科学の接点, 北海道大学 (北海道, 札幌市), 2019 年 10 月 3 日.
- 26) Y. Liu, “A concise review on inverse problems for fractional diffusion equations, Seminar”, Shandong University of Technology (Zibo, China), September 22, 2019.
- 27) 岡本 守, 後藤田 剛, 長山 雅晴, “Existence and non-existence of the asymmetrical rotating solution of the reaction-diffusion particle model”, 応用数理研究会, 能登千里浜休暇村 (石川県, 羽咋市), 2019 年 9 月 5 日~7 日.
- 28) 松永 哲, 長山 雅晴, 上坂 正晃, 岡本 守, “ベイズ推定を用いた数理モデルのパラメータ推定方法の考察”, 第 13 回応用数理研究会, 休暇村能登千里浜 (石川県, 羽咋市), 2019 年 9 月 5 日~7 日.
- 29) 沈案 鷺, 岡本 守, 長山 雅晴, “樟脳運動のフェーズ・フィールドモデルについて”, 応用数理研究会, 能登千里浜休暇村 (石川県, 羽咋市), 2019 年 9 月 5

日～7 日.

- 30) Kim Minsoo, 田中 晋平, 中田 聡, 岡本 守, 長山 雅晴, “液滴集団運動の数理モデルについて”, 応用数理研究会, 能登千里浜休暇村 (石川県, 羽咋市), 2019 年 9 月 5 日～7 日.
- 31) H. Aonuma, “Synthetic approach to understand rhythmic movement of the brittle star”, Seminar at Biochemistry Department, Queen Mary, University of London, London, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland (the), August 27th, 2019.
- 32) 松永 哲, 長山 雅晴, 上坂 正晃, 岡本 守, “ベイズ推定を用いた数理モデルのパラメータ推定方法の考察”, 札幌非線形現象研究会 2019, 北海道大学電子科学研究所中央キャンパス総合研究棟 2 号館 5 階講義室(北海道, 札幌市), 2019 年 8 月 27 日.
- 33) 劉 逸侃, “Unique continuation property with partial information for two-dimensional anisotropic elasticity systems”, Summer School on Applied Inverse Problems and Related Topics, 東京大学玉原国際セミナーハウス (群馬県, 沼田市), 2019 年 8 月 7-10 日.
- 34) 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, “表皮数理モデルにおける層構造と皮膚バリア機能”, 日本数学会 2019 年度年会, 東京工業大学大岡山キャンパス (東京都, 目黒区), 2019 年 3 月 18 日,
- 35) 宇賀 神篤, 西野 浩史, 尾崎 克久, “ナミアゲハのメス成虫におけるミカン葉抽出物提示時の活動脳領域の解析”, 第 63 回応用動物昆虫学会, 筑波大学, Japan (2019-03)
- 36) 須志田 隆道, 山岸 義和, “一般アルキメデス螺旋格子による葉序的なボロノイタイリング”, 日本数学会 2019 年会(トポロジー分科会), 東京工業大学, 2019 年 3 月 18 日.
- 37) 脇田 大輝, 浪花 啓右, 早瀬 友美乃, 青沼 仁志, “Autonomous decentralized coordination in the disk of the green brittle Star”, 計測自動制御学会第 31 回自律分散システムシンポジウム, 国立民族博物館, Japan, 2019 年 01 月
- 38) 浪花 啓右, 杉本 靖博, 大須賀 公一, 青沼 仁志, “排便に伴い誘発するクロコオロギの定型的行動”, 計測自動制御学会第 31 回自律分散システムシンポジウム, 国立民族博物館, Japan, 2019 年 01 月
- 39) 安井 浩太郎, 川 和貴, 加納 剛史, Standen M Emily, 青沼 仁志, 石黒 章夫, “ムカデの歩行・遊泳間の遷移に内在する自律分散制御則”, 計測自動制御学会第 31 回自律分散システムシンポジウム, 国立民族博物館, Japan, 2019 年 01 月
- 40) 須志田 隆道, 山岸 義和, “一般アルキメデス螺旋格子による葉序的なボロノイタイリング”, 2018 年度応用数学合同研究集会, 龍谷大学, 2018 年 12 月 14

日.

- 41) 秋山 正和, 須志田 隆道, 稲木 美紀子, 松野 健治, “ショウジョウバエ後腸の左右性を理解するための 3D パーテックスダイナミクスモデル”, 応用数学合同研究集会, 龍谷大学, 2018 年 12 月 13 日～15 日.
- 42) 後藤田 剛, 上坂 正晃, 小林 康明, 北畑 裕之, 傳田 光洋, 長山 雅晴, “表皮数理モデルにおける皮膚バリア機能と層構造の安定性”, 応用数学合同研究集会, 龍谷大学 (滋賀県, 大津市), 12 月 13 日～15 日
- 43) 上坂 正晃, 上田 肇一, 中村 健一, 小林 康明, 長山 雅晴, “表皮基底膜の数理モデリングに由来する変分問題とその解析”, 応用数学合同研究集会, 龍谷大学 (滋賀県, 大津市), 12 月 13 日～15 日
- 44) 岡本 守, 後藤田 剛, 長山 雅晴, “円環水路上に現れる樟脳円板のクラスター運動に対する数学解析”, 応用数学合同研究集会, 龍谷大学 (滋賀県, 大津市), 12 月 13 日～15 日
- 45) 毛利 希, 田中 晋平, 中田 聡, 住野 豊, 長山 雅晴, “液滴集団の運動遷移プロセスに対する数理解析”, 応用数学合同研究集会, 龍谷大学 (滋賀県, 大津市), 12 月 13 日～15 日
- 46) 安ヶ平 裕介, 岡本 守, 長山 雅晴, “1 次元反応拡散-粒子モデルに対する大域的分岐構造の数値解法とその応用”, 応用数学合同研究集会, 龍谷大学 (滋賀県, 大津市), 12 月 13 日～15 日
- 47) 山岸 義和, 須志田 隆道, “アルキメデス螺旋格子上のボロノイタイリング”, 日本数学会 2018 年会(トポロジー分科会), 岡山大学, 2018 年 9 月 25 日.
- 48) 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, “角層剥離の数理モデリング”, 日本数学会秋期総合分科会, 岡山大学 (岡山県, 岡山市), 2018 年 9 月 24 日～27 日
- 49) 小林 康明, 郡 宏, “ベイズ推定を用いたマウスの歩行パターンの解析”, 日本物理学会 2018 年秋季大会, 同志社大学(京都府京田辺市) 2018 年 9 月 12 日
- 50) 長山 雅晴, 上坂 正晃, 後藤田 剛, 安ヶ平 裕介, 小林 康明, 北畑 裕之, 傳田 光洋, “表皮構造の数理モデルにおける細胞の扁平化と安定な角層形成について”, RIMS 研究集会「第 15 回 生物数学の理論とその応用 -次世代の数理科学への展開-」, 京都大学 (京都市, 左京区), 2018 年 9 月 10 日～14 日
- 51) 長山 雅晴, 上坂 正晃, 後藤田 剛, 安ヶ平 裕介, 小林 康明, 北畑 裕之, 傳田 光洋, “表皮構造の恒常性について”, RIMS 研究集会「第 15 回 生物数学の理論とその応用 -次世代の数理科学への展開-」, 京都大学 (京都市, 左京区), 2018 年 9 月 10 日～14 日
- 52) 岡本 守, 後藤田 剛, 長山 雅晴, “円環水路上に現れる樟脳円板のクラスター運動に対する数学解析”,



- 日本応用数学会年會 2018, 名古屋大学 (愛知県, 名古屋市), 2018 年 9 月 3 日～9 月 5 日,
- 53) 早瀬 友美乃, 脇田 大輝, 青沼 仁志, “クモヒトデに見られるポンピングダイナミクス”, 日本物理学会, 同志社大学, Japan (2018-09)
  - 54) 松田 朝陽, 青沼 仁志, 浪花 啓右, 金子 俊一, “アギトアリの大顎の機構モデリング”, 2018 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 函館アリーナ, Japan (2018-09)
  - 55) 高原 聡, 青沼 仁志, 金子 俊一, “X 線マイクロ CT によるクモヒトデ腕の 3 次元骨格形状抽出～多自由度ロボット設計に向けて～”, 2018 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 函館アリーナ, Japan (2018-09)
  - 56) 渡邊 英博, 小池 雪乃, 立石 康介, 堂前 愛, 西野 浩史, 横張 文男, “ワモンゴキブリの嗅覚局所受容野の形成機構”, 日本動物学会第 89 回札幌大会, 札幌市コンベンションセンター, Japan (2018-09)
  - 57) 西野 浩史, 堂前 愛, “明瞭分離された 2 つの嗅覚経路は気流情報を符号化する”, 日本動物学会第 89 回札幌大会, 札幌市コンベンションセンター, Japan (2018-09)
  - 58) 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, “表皮における顆粒層の安定化とタイトジャンクション形成の数値モデリング”, 第 23 回計算工学講演会, ウィンクあいち (愛知県, 名古屋市), 2018 年 6 月,
  - 59) 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”, 第 24 回画像センシングシンポジウム SSII2018, パシフィコ横浜アネックスホール, Japan (2018-06)
  - 60) 松田 朝陽, 青沼 仁志, 浪花 啓右, 金子 俊一, “アギトアリの顎の超高速回転運動の機構モデル構築のための画像パターン計測”, 第 24 回画像センシングシンポジウム SSII2018, パシフィコ横浜アネックスホール, Japan (2018-06)
  - 61) 浪花 啓右, 青沼 仁志, 杉本 博, 大須賀 公一, “脳による中央制御系を排除したコオロギのふるまい”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018, 福岡, Japan (2018-06)

#### 4.6 シンポジウムの開催

- 1) H. Aonuma, Y. Umezono and T. Tokumoto, 日本動物学会国際交流委員会主催「第 1 回動物学国際交流シンポジウム」, 50 人, 大阪市立大学 (大阪府, 大阪市), 2019 年 9 月 13 日.
- 2) 伊藤 弘道, 石田 敦英, 劉 逸侃, 森岡 悠, 若手研究集会「波動・振動・流れの制御と逆問題 -理論と数値計算-」, 東京理科大学 (東京都, 新宿区), 2019 年 8 月 26 日～27 日.

- 3) 山本 昌宏, 劉 逸侃, Summer School on Applied Inverse Problems and Related Topics, 東京大学玉原国際セミナーハウス (群馬県, 沼田市), 2019 年 8 月 7-10 日.
- 4) 長山 雅晴, 電子科学研究所附属社会創造数学研究センター公開シンポジウム, 数値連携の現状と未来～知のオープンファシリティー～, 北海道大学応用科学フロンティア 2F 鈴木章ホール, 2018 年 8 月 24 日～25 日
- 5) 青沼 仁志, 第 5 回日本動物学会国際交流セミナー, 開催期間, 2018 年 9 月 11 日～12 日, 開催場所, 北海道大学学術交流会館, アイヌ文化センター (札幌, 震災のため中止, 書面開催)

#### 4.7 共同研究

##### a. 国内大学、研究機関との共同研究

- 1) 秋山 正和, 北海道大学電子科学研究所、新物質創生に向けたシミュレータ構築に関する共同研究プロジェクト.

##### b. 産業界等との共同研究

- 1) 長山 雅晴, 日本製鉄, 活性汚泥法モデルの高精度化, 2016 年度～2021 年度
- 2) 長山 雅晴, 株式会社資生堂, 表皮構造モデルの構築, 2015 年度～2021 年度
- 3) 西野 浩史, 東日本高速道路, 高速道路の飛来虫 対策に関する研究, 2014 年度～2019 年度

##### c. 国際共同研究

該当なし

##### d. 外国人研究者の招聘

- 1) Frederic Libersat. The Abraham and Bessie Zacks Chair in Neurobiology; Dept of Life Sciences and Zlotowski Center for Neurosciences; Ben Gurion University, Beer Sheva, Israel, (2019 年 9 月 2～15 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) 劉 逸侃 (代表), 若手研究 非整数階拡散-波動方程式とその逆問題の数学解析, 2020～2021 年度
- 2) 小林康明 (代表), 基盤研究(C) やわらかい組織の上で増殖する細胞系の連続体モデル構築と解析, 2019～2021 年度
- 3) 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値モデリングとその数理解析, 2016～2019 年度
- 4) 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
- 5) 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

- 6) 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
- 7) 青沼 仁志 (分担), 基盤研究 S,昆虫のゾンビ化から紐解く多様な振る舞いの源泉,2017～2021 年度
- 8) 青沼 仁志 (分担), 挑戦的研究 (萌芽), 運動への介入から解き明かす闘争行動を引き起こすアンテナフエンスの構成論的理解,2018～2019 年度
- 9) 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～2019 年度
- 10) 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」,2015～2018 年度
- 11) 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
- 12) 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
- 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) 須志田 隆道 (代表), 若手研究 一般,葉序のパターン形成を理解するための数理モデリングとその幾何学的研究,2018 年度～2021 年度
- 15) 西野 浩史 (代表) 基盤研究 C, 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,2017～201 年度

#### b. 大型プロジェクト・受託研究

- 1) 長山 雅晴, JST ムーンショット型研究開発事業, 恒常性の理解と制御による糖尿病および併発疾患の克服,2020 年度～2021 年度
- 2) 長山 雅晴, JST CREST, 体表多様性を創発する上皮-間充織相互作用の動的制御機構の解明, 2019 年度～2024 年度
- 3) 青沼 仁志, JST CREST, 環境を友とする制御法の創生, 2014年度～2019年度
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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,2018 年度

#### 4.9 受賞

- 1) Takahashi, H. Nishino and M. Mizunami, 日本比較生理生化学会第 41 回東京大会 (JSCPB2019) 会長賞 “Separate but interactive prallel olfactory processing streams governed by different types of GABAergic feedback neurons in the mushroom body of cockroaches.” (日本比較生理生化学会) 2019 年 12 月

#### 4.10 アウトリーチ活動

- 1) 長山 雅晴、出張講義 (札幌北高校)、スーパーサイエンスハイスクール、2020 年 12 月 16 日
- 2) 青沼 仁志、公開講義 (立命館慶祥高校)、国民との科学・技術対話事業「アカデミックファンタジスタ」、2020 年 10 月 23 日
- 3) 長山 雅晴、公開講座 (神奈川県立産業技術総合研究所「研究者、技術者のための応用数学 ～科学・工学に活かす数理的思考～」,2020 年 10 月 21 日～23 日 (オンライン開催)
- 4) 長山 雅晴、出張講座 (UHB 大学)、2020 年 9 月 29 日
- 5) 長山 雅晴、出張講義 (札幌北海高校)、国民との科学・技術対話事業「アカデミックファンタジスタ」、2019 年 12 月 13 日
- 6) 長山雅晴、公開講座 (神奈川県立産業技術総合研究所「研究者、技術者のための応用数学 ～科学・工学に活かす数理的思考～」,2019 年 11 月 27 日～29 日
- 7) 青沼 仁志、出張講義 (札幌東高校)、国民との科学・技術対話事業「アカデミックファンタジスタ」、2019 年 10 月 30 日
- 8) 長山 雅晴、出張講義 (札幌啓成高校)、スーパーサイエンスハイスクール、2019 年 1 月 18 日
- 9) 青沼 仁志、出張講義 (札幌北高校)、国民との科学・技術対話事業「アカデミックファンタジスタ」、2018 年 12 月 13 日
- 10) 長山 雅晴、出張講義 (札幌啓成高校)、スーパーサイエンスハイスクール、2018 年 9 月 7 日
- 11) 長山 雅晴、出張講義 (北海道札幌国際情報高等学校)、国民との科学・技術対話事業「アカデミックファンタジスタ」、2018 年 2 月 4 日