

戦略的創造研究推進事業 CREST  
研究領域「数学と諸分野の協働による  
ブレークスルーの探索」  
研究課題「生物ロコモーションに学ぶ  
大自由度システム制御の新展開」

## 研究終了報告書

研究期間 平成20年10月～平成26年3月

研究代表者: 小林 亮  
(広島大学大学院理学研究科、教授)

## § 1 研究実施の概要

### (1) 実施概要

本プロジェクトの最終的なねらいは、生物に学ぶことにより、生物並みにしなやかにロバストに、複雑で不確定な現実の環境の中を動き回れるロボットを作ることである。そのために数学者(小林)・生物学者(中垣)・工学者(石黒)からなるチームを編成した。目標達成のためには、ロボットに大自由度を与え、かつそれをうまく制御しなければならない。キーとなるのは、自律分散制御と自己組織的なロコモーション生成である。しかし従来、ロボティクスにおける自律分散制御には「設計原理」が欠落しており、事例ごとのアドホックなアプローチがなされてきた。そこで我々は、粘菌やアメーバのように自律分散制御がもっとも端的な形で現れている単細胞生物に立ち返って、この設計原理を抽出することを試みた。そしてこれらの生物を起点に、より複雑な多細胞生物のロコモーションを攻略していくのが、本プロジェクトの基本方針である。

我々は、粘菌の運動の数理モデルから「齟齬関数」という概念を抽出し(小林・中垣・石黒 Gr)、それを用いた自律分散制御方策を提案した。これは、石黒 Gr によって様々な身体性を持つロボットに実装されていった。アメーバ様ロボット Slimy は、齟齬関数による制御が組み込まれた第1号ロボットである。このロボットでは、齟齬関数による制御の有効性と、原形質保存による長距離相互作用の重要性が示された。ヘビ型ロボット HAUBOT シリーズでは、齟齬関数を位相制御のみならず身体剛性に対する制御に使うことの実効性が示された。4脚歩行ロボット OSCILLEX シリーズでは各脚が独立に制御されているが、身体を介した相互作用のみを通して驚くべき能力を示した。瞬時に定常歩行に入ることができ、体重バランスや速度に応じて、ほぼすべての4脚歩容が「自然に」実現できるのである。このことは、4脚歩行において、陽的な制御以上に、身体および身体と環境の相互作用に埋め込まれた陰的な制御が重要であることを強く示唆している。これらの事例を通して、齟齬関数による制御の有効性が示された。これらの成果は、ロボティクスの分野でもっとも権威のある国際会議 (IEEE/RSJ International Conference on Robotics and Intelligent Systems) から2件も受賞するなど(その他の国際会議でも1件)、国内外で高く評価されている。

また、この流れと並行して、中垣・小林 Gr は、究極の自律分散系である粘菌の持つ情報処理能力に関する研究を行った。ネットワーク設計能力に関する研究では、粘菌の作るネットワークと、首都圏鉄道網との比較を行った結果、粘菌が人間の作った鉄道網と同程度以上のネットワークを形成する能力を有することを明らかにした。同時に、粘菌に学ぶことで適応ネットワークモデルというネットワーク設計アルゴリズムを提案した。この研究は *Science* 誌に掲載され大きな反響を呼び、2度目のイグ・ノーベル賞受賞につながった。また、粘菌やアメーバのレベルでは、運動と身体を構成する物質の物性と情報処理が特に密接に絡み合っているため、中垣 Gr ではプロジェクト期間を通じて、これらの生物の運動計測・力学測定・レオロジー測定を継続し、F-アクチン溶液におけるシアバンド性を発見した。

もう一つの流れは、這行というロコモーション様式の研究である。我々は粘菌・アメーバからヘビにいたるまで、様々な這行性動物の飼育と運動計測を行った。特にその中の1次元的な這行というクラスに関しては、一般的な力学理論を構築することに成功した(中垣・小林 Gr)。この理論は、腹足類から環形動物、さらに多足類への進化におけるロコモーション様式の継承を強く示唆している。2次元的な這行を行う生物として、クモヒトデやヒラムシの研究を行った(石黒・小林 Gr)。これらの研究からは、進化の過程で(脳という器官の発達に伴い)自律分散的制御から集中制御にウェイトが移る、という先入観は必ずしも正しくないという事実が見える。最後にヘビであるが(石黒・小林 Gr)、これは這行動物の中では完全に別格と言ってよいほど、多様で高度な(3次元的)運動を行うことができる。最もベーシックな様式である *Lateral undulation* をもとに数理モデルを構築し、*Sidewinding* など他のモードの発現も含めて記述できることを示した。また、ヘビの運動に関する観察事実は HAUBOT シリーズの設計に積極的に取り入れられた。

本プロジェクトで得られた成果を通して、ロコモーションとその制御を真に理解するためには、進化的な視座を持つことが重要であるということを知ることができた。また、我がチームの最大の特徴である理学と工学の混在の意義も確認できた。すなわち、生物という存在を理解するにあたり、事

実をありのままに記述する「理学の眼」を持つ者と、そこに合目的性を見ようとする「工学の眼」を持つ者の出会いがブレークスルーを呼ぶということである。

## (2) 顕著な成果

< 優れた基礎研究としての成果 >

### 1. 粘菌のつくる交通網と適応ネットワークモデル

概要： 複雑環境における粘菌アメーバの知的ロコモーションの一端を解明した。複数の餌場に対する採餌行動を評価したところ、餌場間ルートの最短性(コスト)、ルートの断線に対する迂回可能性(耐故障性)、ルートにそった餌場間距離(効率)の三つの性質が多目的に最適化された。この機能性をもたらすしくみは、生物学的実験事実に基づく数理モデルにより解明された。このアメーバにならって、関東圏の都市間交通ネットワークのデザインを試みて、現実の鉄道ネットワークとの意外な類似性を明らかにした。

### 2. 1次元の這行の一般力学理論

概要： 多くの動物が紐状の体型を有し、身体にそって波を伝達することで這行を行っている。このような1次元の這行のモデルが本質的に反応拡散方程式に帰着されることを示し、摂動法を用いた理論解析とシミュレーションによって力学的機構を明らかにした。この検証のため、腹足類・貧毛類・多毛類・多脚類・昆虫類の這行運動モードを様々な人工環境下で観察し、新しく発見した運動モードを含めて、我々の理論で解釈可能であることを示した。さらに、進化における運動様式の継承の可能性を示した。

### 3. F-アクチン溶液におけるシアバンド性

概要： 細胞運動や形態形成に重要な役割を担っている F-アクチンの単純溶液が、シアバンド現象を示すことを発見した。シアバンドとは、一様なずり流れが異なるずり速度をもつ二つの巨視的な領域に自発的に分離する現象である。このシアバンド性の発見は、単純な生物高分子における初めての事例であり、アメーバ運動の基本となる原形質レオロジーの解明に大きく貢献した。アメーバが仮足を出す時、あるいは細胞内で原形質輸送流路を作る時、この特性が寄与すると思われる。

< 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果 >

### 1. 齟齬関数による自律分散制御設計スキーム

概要： 究極の自律分散系であるアメーバ様単細胞生物、真正粘菌変形体の運動のモデルから、齟齬関数による自律分散制御の設計スキームを抽出した。齟齬関数とは、局所的に蓄積するフラストレーションの尺度を表すもので、局所コントローラである振動子の位相に対して齟齬を解消するべくフィードバックをかけるものである。この設計スキームは本プロジェクトにおいて、様々なロボットに実装され、その有効性が実証された。

### 2. ヘビ型ロボット HAUBOT

概要： ヘビが示す這行運動に着目し、自律分散制御型ヘビ型ロボット HAUBOT を製作した。HAUBOT 1 には、齟齬関数による自律分散制御を実装したところ、30 体節程度から構成されるヘビ型ロボットを自在に操ることができた。さらに、地面の摩擦特性の違いに応じて適応的な這行運動が実現されることも確認できた。次に、位相制御に加えて筋緊張制御をも自律分散的に行う HAUBOT 2 では、HAUBOT 1 に比して環境適応能力が著しく向上することが確認された。実際のヘビの観察から、ヘビは環境の不均一性をきわめて積極的に利用していることが判明し、HAUBOT 3 ではそれを自律分散制御によって再現した。HAUBOT 3 は障害物をとっかかりに変えることで、環境適応型ロボットのプロトタイプとなった。

### 3. 四脚ロボット OSCILLEX

概要: 四脚ロコモーションの脚間協調に内在する自律分散制御則を提案した。その結果、立位状態から歩行状態間の遷移が瞬時に行われるのみならず、身体特性に応じて霊長類型とイヌ型の歩行が発現、さらには速度に応じてウォーク・トロット・ギャロップの歩容遷移を実現するなど、既存研究には見られない優れた適応能力も併せ示すことが明らかとなった。解析の結果、脚の力覚情報に応じて振動性と興奮性の両者がせめぎ合っており、その結果として適応的な振る舞いが発現していることがわかった。このロボットでは、きわめてシンプルな陽的制御則と陰的制御(身体ダイナミクス)の組み合わせで優れた適応性をすべて実現しており、従来の陽的制御に強く依存した制御方策とは全く異なるコンセプトを提示した。そのインパクトはきわめて大きいと考えられる。

## § 2. 研究構想

### (1) 当初の研究構想

「生物に学ぶことによって、複雑な環境の中をあたかも生物のごとく、滑らかにロバストに動きまわることのできるロボットを創り出すことが、本研究の目指すところである。ロボットが生物のようにしなやかに動くためには、生物同様その身体に大きな自由度を持ち、かつその自由度を巧みに制御しなければならない。このような大自由度系を中枢によってすべて直接制御することはほとんど不可能であり、生物が行っている自律分散型の制御を行う必要がある。しかし現段階では、生物が行う自律分散制御の詳細は明らかではなく、その理論も確立していない。そこで本研究では、まず最も単純な形で自律分散制御が行われている単細胞生物に立ち戻り、そのロコモーション発現機序の本質を数理的に解明することで、自律分散制御の理論の核を作る。そしてそこから、より複雑な体制を持った生物で行われている制御へと理論を拡張し、それに基づいて大自由度ロボットの制御を行うことによって、目標の達成を目指す。本プロジェクトでは、これらの一連の研究を、数学者・生物学者・工学者が三位一体となったチームによって行う。」

以上が、申請時に提案した研究課題要旨である。本プロジェクトの研究は基本的にこの線に沿って進められた。我々のプロジェクトは、小林と中垣によって提案されていた真正粘菌変形体の運動のモデル(理学の目で書かれたモデルであり、制御という概念は意図されていない)の中に、工学者である石黒が散制構造を「発見」したことに端を発している。我々は、それを齟齬関数というキー概念に集約し、振動子駆動型の自律分散系における制御則として定式化した。この制御則をアメーバ型ロボット・ヘビ型ロボット・脚歩行ロボットなど様々なロボットに実装することで、我々の設計スキームの有効性を実証していった。同時に、究極の自律分散系である真正粘菌変形体の持つ能力(特に知的情報処理能力)を調べあげることで、様々な自律分散的アルゴリズム(最短経路探索、ネットワーク設計など)を抽出し、自律分散系の持つ情報処理能力の可能性を追求してきた。また、アメーバから哺乳類にいたるまで、様々な動物のロコモーション(特に這行と脚歩行)を計測し、数理モデル化を経て、ロボット設計に取り入れた。

### (2) 新たに追加・修正など変更した研究構想

#### ① 中間評価で受けた指摘や助言、それを踏まえて対応した結果について

齟齬関数の決め方にアドホック的要素がある、という指摘を受け、このことについて再考を行った。すなわち、自律分散制御の設計論、なるものの落とし所はどのようなものでありうるのかということである。そもそも、アドホック的要素を完全に除外して、定跡通りに設計するということができるのか。一般的に言って、ある程度複雑な系においては、完全な理論化と定跡の確立ができるのは、よほど状況を限定した場合であり、適用範囲の広さと理論化の深度はトレードオフの関係にある。我々の提案した自律分散制御のスキームは、齟齬関数の設計とそれを用いたフィードバック制御という

2段構えになっており、後半はある意味自動的に書き下せる部分である。このスキームが様々なタイプの身体を持つロボットに対する一般論たりうるためには、個別的な事情を吸収する部分が必要であり、それを齟齬関数の設計の部分で担っている。我々は、これを局所的に蓄積する力学的なプラスチック(第1候補としてアクチュエータに生じる応力の強さ)としようという提案を行ってきたわけだが、これによって設計の自由度はかなり落としている。現在のところ、ある程度のアドホックさは受け入れて、設計の選択の余地を少し残すのが生産的なやり方ではないかと考えている。もちろん、うまい制約の下で(十分一般性を残しつつ)きれいな理論を展開できる可能性もあるので、その方向での考察は続けたい。

## ② 上記①以外で生まれた新たな展開について

1次元的な這行に関しては、統一的な理論を構築することができた。この理論の帰結として、腹足類や環形動物の1次元的な這行から、多足類の脚歩行への進化的継続性が示唆された。これにより、進化的な観点からロコモーションとその制御を観るという視座を得た。

齟齬関数による制御は、当初は位相に対するフィードバックのみを考えていたが、身体剛性に対するフィードバックを付加することが非常に有効であることが、HAUBOT 2 の研究から明らかになった。

我々の自律分散制御に対するアプローチは、CPG(振動子系)をコントローラとする枠組みからスタートしたが、身体からのフィードバック信号に依存して振動系状態と興奮状態を切り替える Active rotator 系をコントローラとすることの有効性が明らかになった。これは四脚ロボット OSCILLEX における解析による。

身体、および身体と環境の相互作用の中に力学的に埋め込まれた制御構造の存在は、発達した神経系を持たない生物(例えば昆虫)では重要であろうということは予測していたが、哺乳類などにおける脚歩行においても重要であるということが、神経結合を意図的に排除した OSCILLEX の意外なまでのロボスタで自然な歩容生成によって強く示唆された。

### §3 研究実施体制

#### (1) 研究チームの体制について

##### ①「小林」グループ

##### 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
小林 亮	広島大学大学院理学研究科	教授	H20.10～H26.3
伊藤 健太郎	広島大学大学院理学研究科	助教	H21.9～H26.3
風間 俊哉	広島大学大学院理学研究科	研究員	H22.7～H25.12
梅舘 拓也	日本学術振興会	研究員	H23.4～H26.3
樋口 健吾	広島大学大学院理学研究科	大学院生	H25.4～H26.3
松口大志朗	広島大学大学院理学研究科	大学院生	H25.4～H26.3
村松 拓哉	広島大学大学院理学研究科	大学院生	H25.4～H26.3
伊達 正晃	広島大学大学院理学研究科	大学院生	H23.4～H26.3
小松 雄一	広島大学大学院理学研究科	大学院生	H23.4～H25.8
砂田 靖志	広島大学大学院理学研究科	大学院生	H23.4～H25.3
渡邊 龍信	広島大学大学院理学研究科	大学院生	H24.4～H26.3
畑中 直樹	広島大学大学院理学研究科	大学院生	H24.4～H26.3
秋山 正和	北海道大学電子科学 研究所	助教	H24.7～H26.3
岩本真裕子	明治大学大学院先端 数理工学研究科	大学院生	H23.4～H26.3
手老 篤史	九州大学数理学研究院	准教授	H23.4～H24.9
秋山 正和	九州大学数理学研究院	研究員	H23.12～H24.3
久原 克	広島大学大学院理学研究科	大学院生	H21.4～H24.3
田中 雅宏	広島大学大学院理学研究科	大学院生	H20.10～H23.3
岩本真裕子	広島大学大学院理学研究科	大学院生	H21.4～H23.3
秋山 正和	広島大学大学院理学研究科	大学院生	H20.10～H22.3
風間 俊哉	広島大学大学院理学研究科	大学院生	H20.10～H22.6
奥野 拓也	広島大学大学院理学研究科	大学院生	H20.10～H22.3
伊藤 麻美	広島大学大学院理学研究科	大学院生	H20.10～H22.3

##### 研究項目

- ・ 真正粘菌変形体の運動のモデリング
- ・ フェーズフィールド法と SPH 法を用いたアメーバ運動のモデリング
- ・ 1次元的な這行の数値モデルの構築と分類
- ・ 2次元的な這行(へび、線虫など)の数値モデルの構築
- ・ Discrepancy 関数を用いた制御則の定式化と応用
- ・ 4足歩行の数値モデルの構築と、歩容遷移の理解
- ・ 真正粘菌の知的ロコモーションに関する実験とモデリング
- ・ 4足歩行動物の歩容のデータ収集と解析
- ・ へびの運動制御に関する理論的考察
- ・ ミミズの運動制御に関する理論的考察
- ・ 腹足類の這行に関する数値モデルの構築
- ・ 自律分散制御の設計論の構築
- ・ ヒラムシの這行運動の解析
- ・ 粘菌振動子の理論解析

- ・ 4足歩行の歩容遷移のモデリング
- ・ 粘菌に想を得た保存則付き結合振動子の力学系解析とロボットへの応用
- ・ ヒラムシの多様な運動の観測と数理モデル構築
- ・ ヘビ型ロボットの操縦シミュレータの開発
- ・ ヒラムシの這行の数理モデル
- ・ ヒラムシの遊泳の数理モデル
- ・ ヒラムシ型遊泳ロボットの開発
- ・ 這行運動における粘液の力学的役割の理論的解明
- ・ コウモリのエコーロケーションと飛行軌道生成のモデリング
- ・ 粘菌の原形質流動モデル
- ・ イモムシ型ソフトロボットの開発
- ・ 進化的観点からの運動と制御様式の継承を考える

## ②「中垣」グループ

### 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
中垣 俊之	北海道大学電子科学研究 所	教授	H20.10～H26.3
松本 健司	北海道大学大学院理学 研究科	准教授	H20.10～H26.3
高木 清二	北海道大学電子科学研 究所	准教授	H20.10～H26.3
伊藤 賢太郎	広島大学大学院理学研 究科	助教	H20.10～H21.8
田中 良巳	公立はこだて未来大学シ ステム情報科学部	研究員	H21.4～H23.3
山口将大	北海道大学大学院理学 研究科	大学院生	H20.10～H22.3
上田 肇一	富山大学理工学研究科	准教授	H21.4～H26.3
黒田 茂	公立はこだて未来大学シ ステム情報科学部	特任研究員	H24.4～H25.9
及川 典子	公立はこだて未来大学シ ステム情報科学部	特任研究員	H24.4～H25.9
吉原 一詞	公立はこだて未来大学シ ステム情報科学部	大学院生	H24.4～H25.9

### 研究項目

- ・ 粘菌とアメーバプロテウスの運動観察セットアップの確立
- ・ 体形変化、原形質流動、アクチンミオシン繊維形成、重心移動の関係解析プログラムの作成
- ・ 線虫の這行運動観察セットアップの作成
- ・ アメーバ運動における齟齬関数の考察と数理モデルへの応用
- ・ アメーバ運動の仮足形成と重心移動の力学機構の解明。
- ・ アメーバ運動の単純化力学モデルの考案。
- ・ アメーバ型ロボットの制御機構につながる生物学的運動制御機構の抽出。
- ・ アメーバの知的ロコモーション能の性能評価。
- ・ アメーバの運動解析のための体変形・原形質流動・床反力の測定と解析。
- ・ アメーバに学ぶ這行ロコモーションの一般化力学モデルとその実験的検証

- ・ アメーバの運動の床張力の測定と解析
- ・ 原形質類似溶液のレオロジー特性の計測
- ・ アメーバ運動に伴う原形質輸送の流体力学
- ・ 粘菌の進行方向選択の数理モデリングと摂動による選択促進の発見
- ・ アメーバ運動の細胞内三次元流れ場と重心移動
- ・ 原形質、無細胞系細胞質、アクチン溶液のレオロジー測定と仮足形成
- ・ 多脚類、貧毛類、腹足類などの這行における蠕動波動と重心移動の関係
- ・ 粘菌の知的ロコモーション能を用いた交通網と都市の共進化
- ・ 細胞行動のバラエティ創発のしくみ
- ・ アメーバ運動の細胞内三次元流れ場と重心移動に関する計測方法の確立
- ・ アメーバ運動において基質面にかかる張力の測定のまとめ
- ・ 原形質、無細胞系細胞質、アクチン溶液のレオロジー測定の論文作製
- ・ 多脚類、貧毛類、腹足類などの這行における蠕動波動と重心移動の関係の実験的解明
- ・ 粘菌の知的ロコモーション能を用いた交通網と都市の共進化過程の再現可能性の検証
- ・ アメーバ運動や這行運動にみられるモード多様性発現の発見とその力学機構解析
- ・ 単細胞生物の時間周期および空間形状の記憶と学習能力の力学機構解析

### ③「石黒」グループ

#### 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
石黒 章夫	東北大学電気通信研究所	教授	H20.10～H26.3
大脇 大	同上	助教	H21.1～H26.3
加納 剛史	同上	助教	H21.8～H26.3
梅舘 拓也	東北大学大学院工学研究科	専任研究員	H22.4～H24.3
渡邊 航	同上	D1～4	H20.10～H24.3
坂井 善行	同上	大学院生	H20.10～H21.3
北村 太一	同上	大学院生	H20.10～H21.3
佐藤 貴英	同上	D1～3	H20.10～H25.3
石田 怜	同上	大学院生	H20.10～H22.3
武田 光一	同上	大学院生	H21.4～H23.3
塚辺 有哉	同上	大学院生	H21.4～H23.3
山口 伸一	同上	大学院生	H21.4～H23.3
糸澤 祐太	同上	大学院生	H22.4～H24.3
久保 翔達	同上	大学院生	H22.4～H24.3
長澤 昂	同上	大学院生	H22.4～H24.3
藤原 亮	同上	大学院生	H22.4～H24.3
八重樫 和之	同上	大学院生	H22.4～H26.3
出井 遼	同上	大学院生	H23.4～H25.3
鈴木 翔太	同上	大学院生	H23.4～H25.3
渡邊 裕喜	同上	大学院生	H23.4～H25.3
平井 明礼	同上	大学院生	H24.4～H24.9
福田 裕樹	同上	大学院生	H24.4～H26.3
森川 玲於奈	同上	大学院生	H24.4～H26.3
佐竹 冬彦	同上	大学院生	H25.4～H26.3



佐藤 英毅	同上	大学院生	H25.4～H26.3
中村 憲	同上	大学院生	H25.4～H26.3

#### 研究項目

- ・ アクトミオシンの伸縮を工学的に模擬した可変弾性要素の開発
- ・ **Discrepancy function** に基づく自律分散制御則のアメーバ運動生成への適用とシミュレーションによる検証実験
- ・ 可変弾性要素を用いたアメーバ様ロボットのプロトタイプモデルの設計・製作
- ・ ヘビ型ロボットプロトタイプモデルの設計・製作
- ・ 身体の力学的特性変化に適応可能なオシレータモデルの提案
- ・ **Discrepancy function** に基づく自律分散制御則を実装したアメーバ様ソフトロボットの設計・製作と実験的検証
- ・ **Discrepancy function** に基づく自律分散制御則を実装したヘビ型ロボットの設計・製作と実験的検証
- ・ 身体の力学的特性変化に柔軟に適応可能なマルチリズムオシレータモデルの開発
- ・ CPGと筋骨格系, そして環境間で強力なグローバルエントレインメントの成立を保証する脳・身体間の連関様式に関する数理的考察(四脚ロボットを用いた事例研究)
- ・ **Phasic** な制御と **tonic** な制御の有機的な連関を可能とする自律分散制御則の数理モデル構築
- ・ 流体回路を活用した原形質保存則を満足する粘菌様アメーバロボットの設計・製作
- ・ 位相制御と筋緊張制御の有機的な連関を可能とする自律分散制御則の考察とヘビ型ロボットへの実装
- ・ 深部体性感覚と表在感覚の両者を活用した自律分散制御則の考察
- ・ 四脚歩行ロボットの自律分散制御(**Duty** 比と **diagonality** の関係, 歩容遷移など)
- ・ 柔軟な足部から生み出される感覚情報を活用した二脚歩行のための自律分散制御
- ・ ヒレや腹足の自発的運動パターンに内在する自律分散制御メカニズムの考察
- ・ ミミズの這行運動に内在する伸縮率制御の解明と多脚制御への展開
- ・ 小腸運動に内在する自律分散制御メカニズムの考察
- ・ クモヒトデが示す腕の自発的役割分担の発現機序の力学的解明
- ・ 振動性と興奮性間の自発的スイッチングに基づく新しい **CPG** モデルの構築と 4 脚ロボット **OSCILLEX 1** を用いた自己組織的脚間協調の実験的検証
- ・ 4 脚歩容遷移(ウォーク, トロット, ペース, ギャロップなど)の発現機序解明と 4 脚ロボット **OSCILLEX 2** を用いた実験的検証
- ・ 非構造環境下で這行可能なヘビのロコモーションに内在する自律分散制御則の理論的考察
- ・ 柔軟な足部から生み出される表在感覚情報に基づく二脚歩行の **CPG** 制御と 2 脚ロボット実機を用いた実験的検証
- ・ ヒラムシに着想を得た 2 次元シート型ロボットの自律分散制御則の理論的考察
- ・ 真正粘菌変形体が示す自発的なアトラクタ遷移の発現機序解明とロボットへの実装
- ・ 振動性と興奮性間の自発的スイッチングに基づく新奇な **CPG** モデルの構築と 4 脚ロボットを用いた歩容遷移の実験的検証(ペース・トロットの排他的発現等)
- ・ 非構造環境下で這行可能なヘビのロコモーションに内在する自律分散制御則の構築と検証用ロボット実機の開発
- ・ ヒラムシに着想を得たマルチテレストリアルロコモーションの発現機序解明と検証用ロボット実機の開発
- ・ 6脚歩行の脚間協調機序の解明と検証用 6 脚ロボット実機の開発
- ・ 位相調整のみならずステイフネス調整をも考慮した大変形可能な粘菌型ロボットの開発
- ・ 振動性と興奮性間の自発的スイッチングに基づく新奇な **CPG** モデルの構築と 4 脚ロボットを用いた歩容遷移の実験的検証(ウォーク・トロット(ペース)・ギャロップ間の遷移)

- ・ ヘビの這行モード遷移に関する数理的考察と検証用ロボット実機の開発

(2)国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について  
(研究チーム外での連携や協働についてご記入ください。ライフ分野では臨床医等を含みます。)

1. 関本 謙(パリ第7大学): 動物の運動力学、特に脚歩行のモデリングについて定期的にディスカッションを行っている。
2. 飛龍志津子グループ(同志社大学): コウモリのエコーロケーションと飛行軌道の生成に関する共同研究を行っている。
3. 園部誠司グループ(兵庫県立大学): アメーバ運動に関する共同研究を行っている。
4. Barry Trimmer グループ(タフツ大学): イモムシのロコモーションに関する共同研究を行っている。
5. 大須賀公一グループ(大阪大学): 多脚歩行に関する共同研究を行っている。
6. Volker Dürrグループ(ビーレフェルト大学): 6脚歩行に関する共同研究を行っている。
7. 青沼仁志グループ(北海道大学): クモヒトデのロコモーションに関する共同研究を行っている。
8. David Sumpterグループ(ウプサラ大学): (1)動物行動学と(2)粘菌のネットワーク形成の数理モデリングと解析について、定期的に打ち合わせを行ってきた。Sumpter教授は動物の集団運動の専門家である。
9. Serge Bielawskiグループ(リール科学工科大学): アメーバ運動の光学計測の開発について、定期的に打ち合わせを行ってきた。Bielawski教授は非線形レーザー光学の専門家である。
10. Jean Paul Rieuグループ(リヨン第一大学): 張力顕微鏡観察に基づいた細胞運動の力学解析について定期的に打つ合わせをしてきた。
11. Mark Frickerグループ(オックスフォード大学): 粘菌やカビ、人間社会の輸送ネットワークの形成機構に関する共同研究を押し進めている。
12. Robert Guyグループ(カリフォルニア大学デービス校): 細胞運動の流体力学解析について共同研究を行っている。
13. 飯間信(広島大学): アメーバ運動の流体力学解析について共同研究を行っている。
14. 折原宏グループ(北海道大学): 細胞のレオロジー計測について共同研究を行っている。
15. Marcus Hauserグループ(マグデブルグ大学): 粘菌のネットワークと細胞運動に関する共同研究を行っている。

## § 4 研究実施内容及び成果

### 4.1 粘菌に学ぶ適応ネットワーク形成 (中垣グループ, 小林グループ)

輸送ネットワークは、社会システムにおいても生物システムにおいてもいたるところにある。頑健なネットワークを作るためには、低コスト性と輸送効率と耐故障性などを満たすために、複雑なトレードオフを考える必要がある。生物ネットワークというものは、長い年月にわたる進化的淘汰圧により十分研ぎすまされており、そのような組み合わせ最適化問題に対する適当な解になっているように思われる。さらに、生物ネットワークは、しばしば集中制御器なしで形成され、一般に拡大成長や縮小に対して十分に可能な設計になっているようである。我々は、真正粘菌モジホコリが現実社会のインフラネットワークと同等の効率性、耐故障性、低コスト性を示す輸送ネットワークを形成することを実験によって示した(図1, 2を参照)。そのインフラネットワークとは、この場合、東京圏の鉄道ネットワークである。粘菌の適応的なネットワーク形成をもたらす中心的な機構は、数理モデリングにより解明された(図3を参照)。粘菌式ネットワーク設計法は、将来的に他の科学・工学領域でのネットワーク設計に利用されるかもしれない。本研究は Science 誌に掲載され、2010年のイグ・ノーベル賞を受賞した。

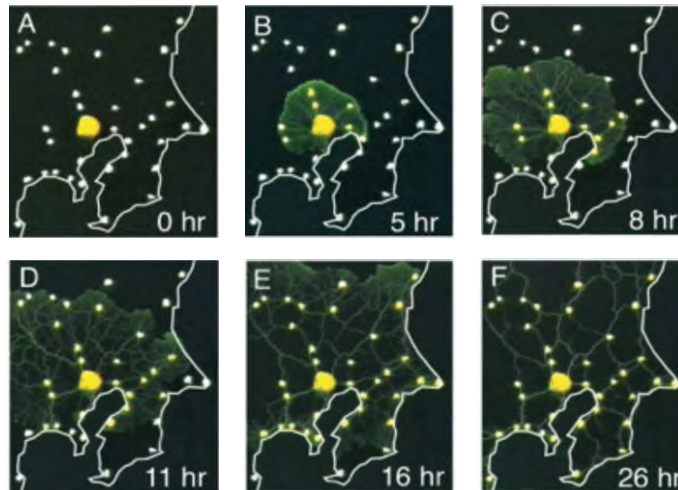


図1. モジホコリのネットワーク形成。(A)少量の粘菌を東京の場所に移植した直後の写真。東京圏の主な街にエサ(オートミール)を置いた。太平洋に相当する場所にはプラスチックフィルムをおいて粘菌が侵入しないようにした。写真の横幅は17センチメートル。(B-F)粘菌が広がり、エサにありつきながら、さらに広がっていく様子の写真。粘菌が広がるにつれ、後方にはエサ場所をつなぐ輸送ネットワークが形成された。

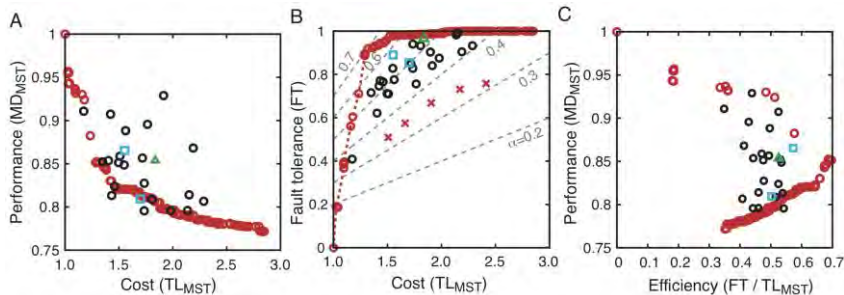


図2. 粘菌の作ったネットワーク、現実の鉄道ネットワーク、モデルシミュレーションにおけるネットワークの輸送性能、耐故障性、低コスト性。(A) コストの関数として表した輸送性能。輸送性能は、任意のエサ場所対間の距離を、最小全域木のそれで規格化したものである。コストは、ネットワークの全長を、最小全域木のそれで規格化したものである。黒丸は粘菌の実験結果、緑の三角は現実の鉄道網、赤円はモデルシミュレーション(パラメタ値は様々)。(B) 低コスト性と耐故障性の関係。耐故障性は、ランダムな断線に対する連結補償性である。シンボルは図 A と同じ。(C) 輸送性能と効率(耐故障性と低コスト性の比)。鉄道ネットワークは、概して粘菌ネットワークと同様の特性を示した。

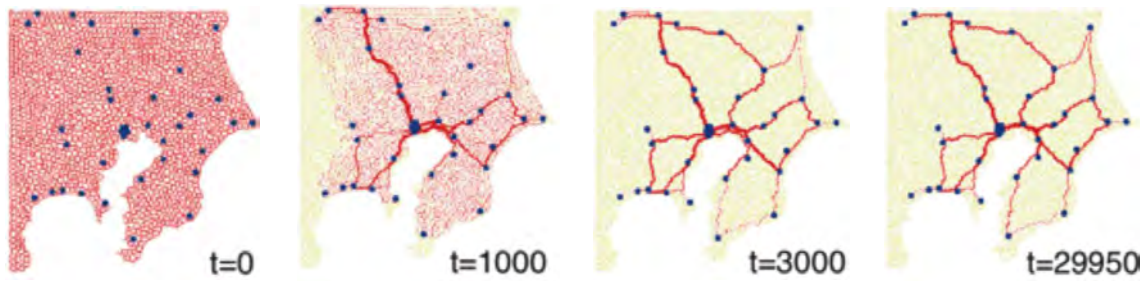


図3. 適応ネットワークモデルの典型的な時間経過。ランダムメッシュワーク上にエサ場所(青い点)を配置した。はじめ、全経路(赤線)は一樣な太さであるが、時間経過とともに一部の経路が太くなりエサ場所間をつないだ。

#### 4. 2 真正粘菌変形体の運動のモデルからの、齟齬関数による自律分散制御則の抽出 (小林グループ, 中垣グループ, 石黒グループ)

小林と中垣は究極の真正粘菌変形体の運動の数理モデルを提案していた。変形体ではゲル層の中にアクチン・ミオシンフィラメントが分布しており、それが収縮振動を起こし、厚みが変化することが知られている。これを数理モデルで表現するために、変形体を厚み方向に収縮させるアクチュエータとして、自然長が振動子によってコントロールされ、実際の長さとの差に比例する力を発生する仮想的なバネを導入した。この数理モデルでは、2次元的にこのようなバネとそのコントローラである振動子を分布させ、バネの力によって圧力  $p$  が与えられるという形をとっている。そして圧力勾配に比例して原形質が流れる (Darcy's law) と仮定している (図1)。

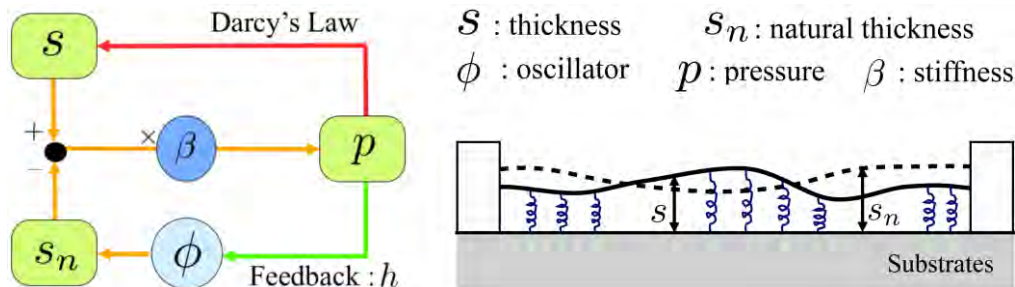


図1: 粘菌モデル: 自然厚み  $s_n$  は  $s_n = s \cdot (1 - \cos \phi)$  で、圧力  $p$  は  $p = \beta(s - s_n)$  で与えられる。振動子  $\phi$  は圧力を介してフィードバックを受ける。

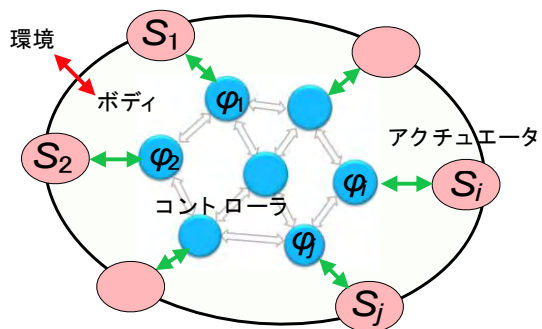
このモデルでは、コントローラである振動子に対するフィードバックとして、 $p^2$  を減らすような方向に位相がずれるという仮定をした。すなわちフィードバック項  $h = h(\phi, p)$  を

$$h(\phi, p) = \sigma \partial_\phi \left( \frac{1}{2} p^2 \right)$$

と置いた。ここで、圧力  $p$  はアクチュエータ自身が出す力の結果であると同時に、コントローラがアクチュエータに望む状態と現実の状態の差の指標であるともみなすことができる。そこで我々は圧力の大きさ(この場合は圧力の2乗)を「齟齬」と呼ぶことにし、身体からコントローラへのフィードバックはこの齟齬を解消する方向に働くことと仮定した。ここで注意すべきは、我々のアプローチにおいては、齟齬は無くすべきものではないということである。実際、コントローラ自身は齟齬を作り出し続けており、それが力の源泉となっている。

このモデルをもとに、結合振動子系をコントローラとするロボットにおける自律分散制御のスキームを提案した(図2)。ここでは振動子  $\phi_i$  とアクチュエータ  $S_i$  のペアを自律個とみなす。ここに蓄積するフラストレーション(齟齬)を  $I_i$  と書く。このロボットの制御則を

$$\partial_t \phi_i = \omega_i + \sum_j g_{ij}(\phi_i, \phi_j) - \sigma \partial_{\phi_i} I_i$$



によって与える。ここで右辺第1項と第2項は、通常の結合振動子(振動子は位相振動子)であるが、そこに齟齬関数由来のフィードバック項(右辺第3項)が加わっている。ここで注意すべきは、コントローラ同士は元来の直接結合以外に、身体を介したアクチュエータ同士の力学的結合を介した相互作用があるということである。また身体と環境の相互作用も右辺第3項を介して、コントローラに伝えられる。

図2 自律分散ロボットの設計スキーム

#### 4.3 アメーバ様ロボットの設計と齟齬関数による制御 (石黒グループ, 小林グループ, 中垣グループ)

生物は非構造的で予測不能的に変動する環境下であっても、実時間かつ合目的に振る舞う適応的な知を有している。このような知を発現し、あたかも生物のごとく柔らかくしなやかに動き回ることでできるロボットを創り出すためには、特に以下の二つをロボットに組み込む必要がある:

- ・ ロボットの身体に生物同様の大きな自由度を持たせ、それらを巧みに制御する(大自由度制御),
- ・ 既存の行動パターンが機能しなくなった時のために、多様な振る舞いを自己組織化できるようなシステムを設計する(振る舞いの多様性に基づいた適応的運動機能)。

これらは単細胞から多細胞生物に至るまで普遍的なものであるが、多くの人工物には欠けている機能である。

##### ■ 柔らかいアクチュエータと Morphological computation による大自由度制御

自律分散制御での大自由度制御則を構築するため、真正粘菌変形体に着想を得た明示的な関節を持たないアメーバ様ロボットを構築し(図1)、シミュレーションならびに実機にてアメーバ運動の生成に成功した(図2)。このことを通して、力覚情報を局所センサフィードバックに組み込んだ自律分散制御則という体系的な設計論を抽出した。本アメーバ様ロボットの特徴は以下の3つである:

- ・ 受動性をあわせ持つ柔らかいアクチュエータ(可変弾性要素)を外皮に組み込んだ。この受動性により、他の身体部位、原形質、外部環境などから受ける力により、可変弾性要素に張力が発生する。その張力(力覚情報)を計測することにより、可変弾性要素の自然長(制御値)と実際の長さ(機構系、環境から受ける力により変化)の「齟齬」が抽出することができる

- これに加えて、内質の量が保存されるように原形質を実装することで（原形質量保存則）、**身体部位間に力学的な長距離相互作用**が生起されるよう機構系を設計した。
- 上記の機構系の柔らかさを活用することで抽出可能な制御系と機構系に生じる齟齬に着目し、**それらの齟齬が小さくなるように局所センサフィードバック**を設計した。

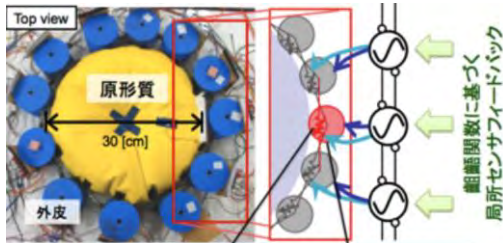


図1. アメーバ様ロボット Slimy

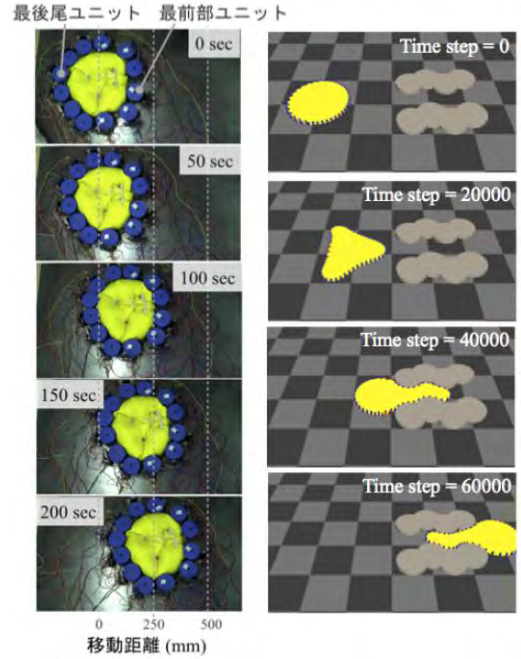


図2. アメーバ様ロボットの実機がロコモーションを生成する様子(左)とシミュレーションによる狭窄空間突入実験(右)

#### 4.4 アメーバの意思決定（中垣グループ）

単細胞アメーバが障害物に遭遇したさいにあたかも逡巡するかのように振る舞うことが、近年発表された。アメーバ生物である粘菌モジホコリの変形体が細長いレーンを移動していく途中でキニーネという忌避物質に出会うと、そこで何時間も立ち止まり、その後突然再び移動し始める。運動の再開時、三つの異なる行動が見られた。キニーネ帯から引き返して後退、乗り越えて前進、一部後退し一部前進する分裂の三つである。同一の実験条件で、全く異なる行動が個体ごとに現れる点が興味深い。我々は、この行動をもたらす細胞力学を解明するために連続体模型を提案した。モデルが記述するのは原形質の流体運動であり、その駆動力である圧力は、仮足の形成と引き込みをになう自己触媒的生化反応（主にアクチオシン繊維の動態とカップル

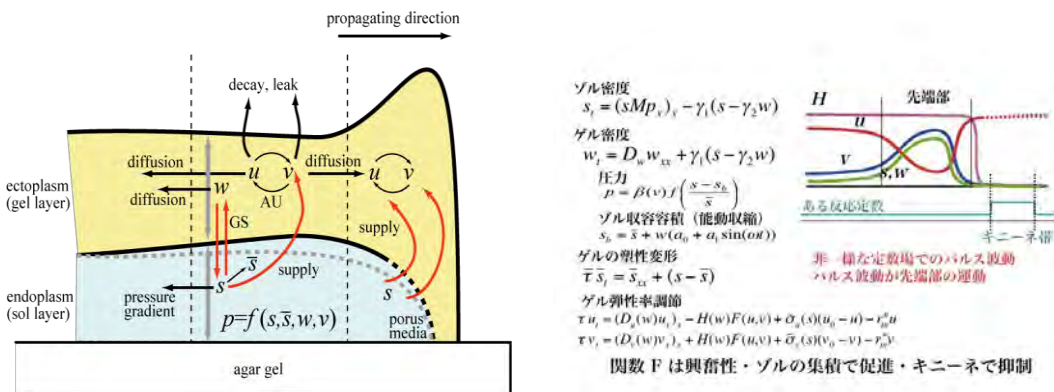


図1：モデル方程式の概略。多孔質媒体のゲルの内部にゾルが満たされているとする。空間一次元とする。粘菌のゾルとゲルの2相流体の物質の保存式を考える。ゲルの張力（変形に伴う内力とエネルギー消費を伴う能動収縮の二種類がある）によりゾルが流れる。ゲルのレオロジーは、早い時間尺度では線形弾性体、遅い時間では塑性体とする。ゲルの能動収縮は化学時計により周期的に発生する。線形弾性体としての弾性率は、アクチオシンの動態調節化学反応により、その反応は興奮性であると仮定した。キニーネによってこの調節反応が変調されて、より堅くなるように（興奮性を抑制するように）なるとした。また、こ

の調節反応は、ゾルの集積によりゲルが変形することによって、より柔らかく（興奮性を促進するように）なる。ゲルの堅さ調節反応は、進行端で興奮状態になっており（柔らかくなっている）、それにより先端部に原形質が集積する。この興奮パルスが伝播することが、粘菌の進行端の進展を表す。

した原形質ゾルゲル変換過程）に基づいている。このモデルの生物学的妥当性を検証するために、細胞の厚みプロファイルを時間空間的に実測して比較した。粘菌の三つの行動は、モデルシミュレーションにより再現でき、厚みプロファイルも概ね再現できた。さらに、モデルの振る舞いを非線形動力学の観点から考察することによって、行動選択の核心的機構が予想された。粘菌の先端部で進行する興奮性化学反応において、不応期と興奮期との間で起こるオンオフ遷移が、行動パタンの切り替えの鍵を握っているらしい。

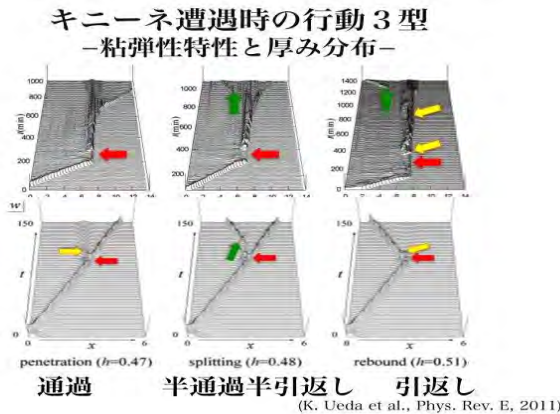


図2。キニーネ帯に対する三つの行動パターン。横軸 (x 軸) は細長いレーンに沿った空間座標。中央付近の点線がキニーネ帯を示す。縦軸 (y 軸) は時間、z 軸は細胞の厚みを示す。上段は実際の粘菌、下段はモデルシミュレーションである。左側、中央、右側は、それぞれ、通過、分裂、後退の行動を示す。

#### 4.5 HAUBOT 2 - 位相制御と筋緊張制御の有機的整合を実現した自律分散型ヘビロボット (石黒グループ, 小林グループ)

18体節からなるロボット HAUBOT2 を製作した。各体節には、マイクロコンピュータを実装した制御回路基盤、関節角度検出用のロータリポテンシオメータ、位相や筋緊張の度合いを視覚的に確認するための LED、電源バッテリー、そして、2つのサーボモータが内蔵されている。各体節のモータは自身の駆動対象である隣接体節とシリコンゴムを介して結合されており、これら2つのモータを同期回転させることで関節部を駆動することができる。この方式により身体の柔らかさとバックドライバビリティを実現する。さらに、上下のモータを逆方向に回転させてシリコンゴムのテンションを高めることで、関節剛性を高めることができる。したがって、図中の回転角  $\eta$  を制御することで、実時間的に関節剛性を変化させることが可能である。

各関節は位相振動子によって駆動されており、第  $i$  関節の目標関節角が

$$\bar{\theta}_i = \theta_0 \sin \phi_i$$

によって与えられる。ただし先頭の数体節には、外部コントローラからの信号が付加される。位相振動子の時間発展は

$$\frac{d\phi_i}{dt} = \omega + \epsilon \sin(\phi_{i-1} - \phi_i - \Delta\phi) - \sigma \partial_{\phi_i} I_i$$

によってされる。ここで  $I_i$  は第  $i$  関節における齟齬関数で

$$I_i = |\theta_i - \bar{\theta}_i|$$

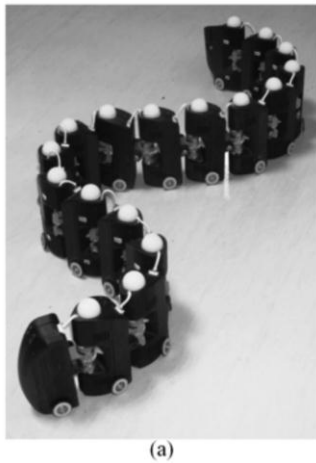
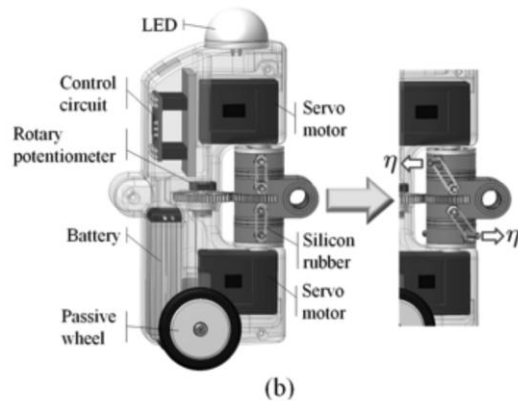


図1:(a) HAUBOT2



(b) 1体節の詳細。ひねりを加える事で関節の剛性を変化させる。

という形を採用した。筋緊張度をコントロールする絞り角  $\eta_i$  は

$$\frac{d\eta_i}{dt} = \alpha(\beta I_i - \eta_i)$$

という式によって時間発展する。これは、齧齧の大きいところ(大きい力のかかっているところ)では身体剛性が上がり、より大きな力を出すようになるということである。

このように位相制御と筋緊張制御の2通りの制御信号を齧齧関数  $I_i$  から生成したが、その効果を観るために (a) フィードバック無しの場合、(b) 筋緊張制御のみ実装した場合、(c) 位相制御のみ実装した場合、(d) 位相制御と筋緊張制御の両者を実装した場合の 4 通りにおいて、移動距離と単位時間あたりの消費電力の観点から比較した。結果を図2に示す。(a) の場合、ロボットが斜面上へ移動すると、重力に起因

する負荷がかかることによる単位時間当たりの消費電力の増加が見られるが、斜面上を推進することができず徐々に後退した。(b) の場合、他の場合よりも短い時間で斜面上に到達していることから分かるように、筋緊張制御の効果により大きな推進力を生み出すことができたが、(a) の場合よりも大きな消費電力を要しているにもかかわらず、斜面上を推進することができなかった。(c) の場合、他の場合と比べ少ない消費電力によるロコモーションが見られた。このことは、位相制御の効果によりしなやかな振る舞いが生み出されたことに相当するが、この場合もまた斜面上を推進することができなかった。

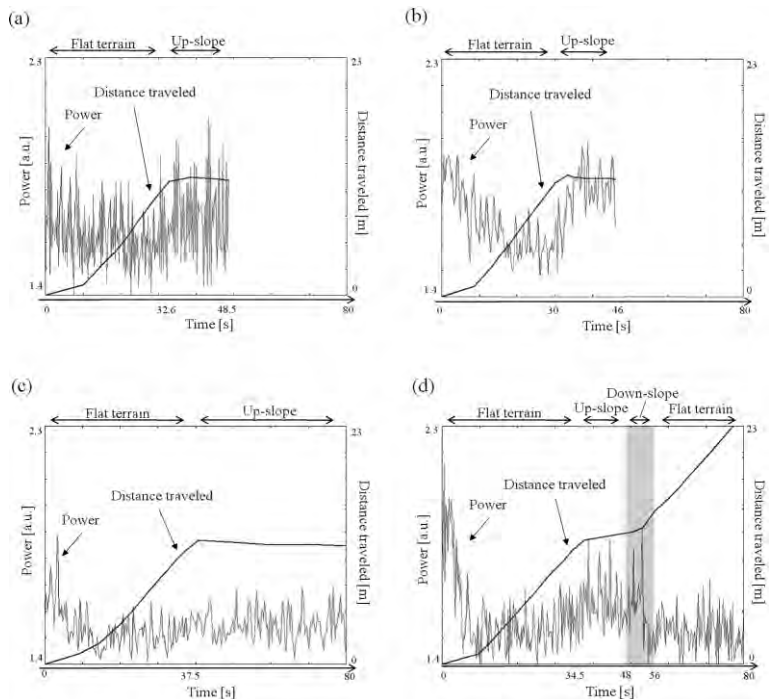


図2 4通りの場合における移動距離と単位時間あたりの消費電力

一方(d) の場合、消費電力の極端な増加を招かずともロボットは斜面上を推進することが可能であった。以上より、位相制御と筋緊張制御が連関することで、より適応的なロコモーションが生み出さ



れることが確認された。

#### 4.6 HAUBOT3 - 不整地走破を目指した自律分散型ヘビロボット (石黒グループ)

現在のロボットのほとんどは、設計時にあらかじめ定められた稼働環境下においては優れた機能を発揮することができるものの、想定外の環境下では著しく性能が低下するのが一般的である。一方、生物は、たとえ原初的な種と分類されるものであっても、時々刻々と予測不可能的に変動する非構造的な実世界環境下で自由に動きまわり、驚くほど適応的な振る舞いを示す。それゆえ、その発現メカニズムを解明することは、生物そのものの理解にとどまらず、既存技術では達成しえない高い環境適応性を有するロボットの構築につながると期待される。

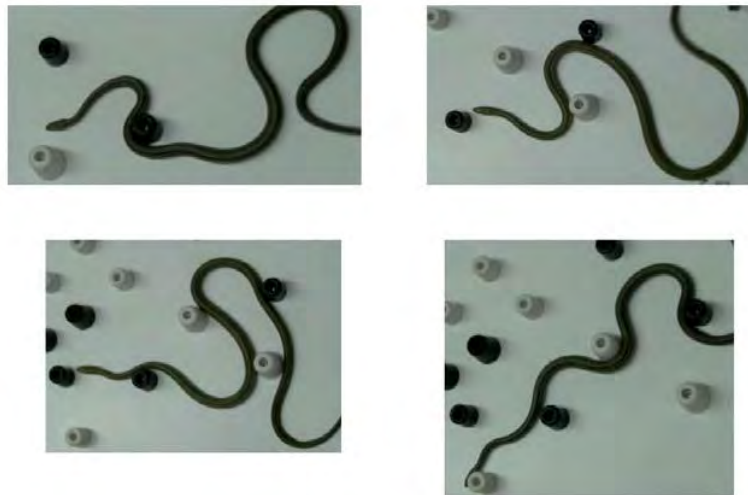


図1 足場(突起物)を利用したヘビの運動

ここで我々は、ヘビのロコモーションに着目する。ヘビは、一次元ひも状というシンプルな身体構造であるにもかかわらず、環境に応じて適切に振る舞うことが可能である。その中でも特徴的な振る舞いとして、地面の凹凸部などの足場となる箇所にも動的に身体を押しつけ、そこから得られる反力を活用しながら推進することが知られている(図1)。このロコモーション様式は、従来のロボットにとって推進性能の低下の要因となる環境の非構造的性を、逆に活用して推進力を得ているという点で驚くべきものである。

我々は、伊達らが提案した曲率微分制御と体表面にかかる圧力に基づく局所センサフィードバック則を組み合わせた制御則を提唱し、実際のヘビの振る舞いを驚くほどよく再現できることをシミュレーション実験を通して示してきた。さらに我々はヘビ型ロボット HAUBOT3(図2)を製作し、提案する制御則の実世界における妥当性を検証した。

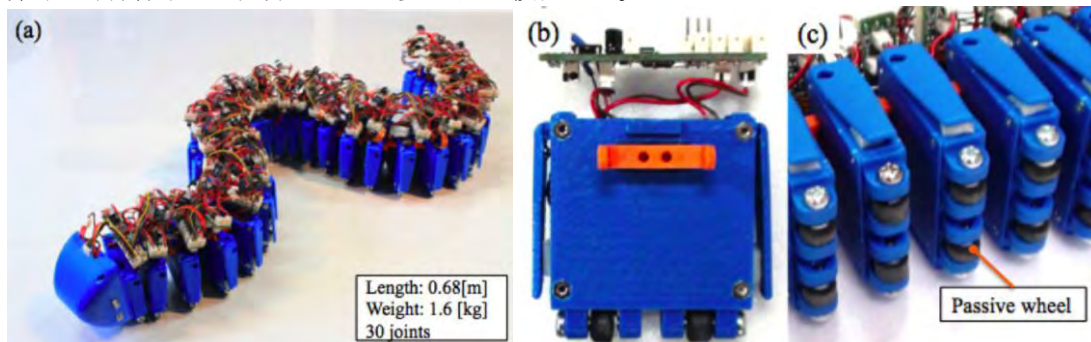


図2 HAUBOT3 (a) 全体像

(b) 各体節

(c) ロボットの底部

#### 4. 7 膝付き受動走行機械の実現（石黒グループ）

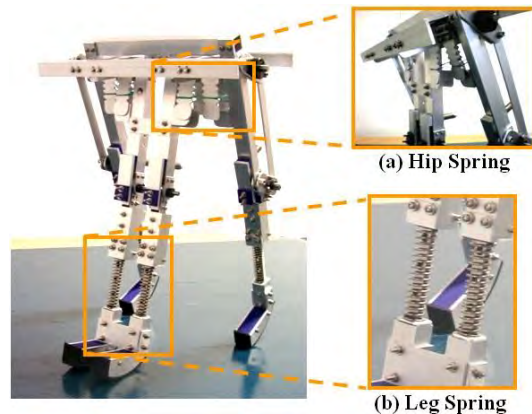
実際の生物システムにおいては、制御対象に制御則の一部が埋め込まれているという「埋込問題」が存在する。そのため制御則と制御対象は渾然一体となっており、両者を切り分けて議論することは困難である。我々はこのような制御対象に埋め込まれている制御則を「陰的制御則」、一方でアルゴリズムとして明示的に記述された制御則を「陽的制御則」と呼ぶ。

受動歩行・受動走行とはアクチュエータやコントローラを一切持たないロボットが斜面を安定的・継続的に歩き下るもしくは走り下る現象である。すなわち受動的ロコモーションとは、陰的制御則のみで生物学的にも意味のある運動を発現する希有な事例といえる。

このような考察に基づき、大須賀らは受動歩行に着目し、接地点における解析的なポアンカレマップを求め、そこに内在するフィードバック構造が受動歩行の安定性に寄与していることを示した。一方、大脇らは、受動走行に着目し大須賀らと同様にポアンカレマップの導出・解析を行うことで、2 入力の状態フィードバックによる 2-Delay 入力制御で説明される安定化構造が内在することを明らかにした。このようにシミュレーション実験や理論解析により受動的ロコモーションのメカニズムが徐々に明らかになりつつあるが、現象を理解するためにはシミュレーション実験・理論解析・実機実験の 3 方向からのアプローチが肝要であると考えられる。

シミュレーション研究による知見をもとに、本研究では図に示す 2 次元モデルの膝付き受動走行機械を製作した。本実機の主な特徴として、2 つの弾性要素(股関節の巻きバネ、脚の直動バネ)が実装されている。股関節に巻きバネを実装することで、跳躍期における股関節角度の開き過ぎを制限に加え、走行周期の調整を可能とする。脛部分に直動バネ実装することで、遊脚接地時に脚バネが縮みエネルギーを蓄積を可能とし、そのエネルギーを用いて跳躍を行う

本研究では、受動走行の実機実現を目的とし、弾性要素など身体の力学的特性を積極的に活用することで、最大36歩という継続的な受動走行が確認された。今後の課題としては、より継続的かつ安定的な受動走行の実現が挙げられる。さらに受動走行機械に内在する陰的制御則と親和性の高い制御則(陽的制御則)を実装し、平地を走行する準受動走行機械の開発と実験的検証も挙げられる。



#### 4. 8 柔軟な足部から生み出される感覚情報を活用した適応的動歩行制御（石黒グループ）

本研究では、ヒトの柔軟な足部に着目することで、身体の可変形性から生み出される感覚運動協調に基づく適応的動歩行制御方策について研究を行った。ヒトの歩行中において、足部は唯一地面と直接的に相互作用する感覚器官であり、柔軟な足部が地面の形状に合わせて変形することによって状況依存的な感覚情報の生成が可能となる。ここで、足部の可変形性とは (1)足裏の皮膚構造の柔らかさ、および(2)足部の筋や腱・骨格構造に起因する関節の柔軟性を意味する。具体的に本研究では、柔軟な足部機構を有する2足歩行ロボットを開発するとともに、柔軟な足部から得られる感覚情報を効果的に活用する歩行制御則を提案した。実機実験の結果、足部から得られる感覚情報を活用することで、継続的かつ安定な歩行が生成可能なことを示した。

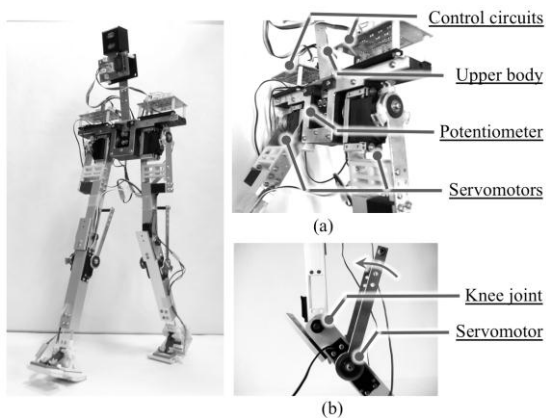


図1. 開発した2足ロボット

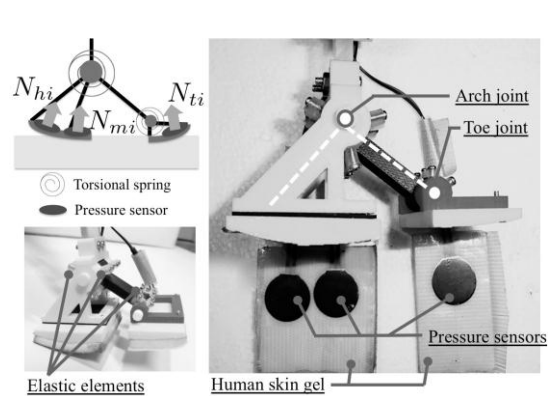


図2. 柔軟な足部の構造

#### 4.9 1次元的這行の一般理論 (中垣グループ、小林グループ)

ナメクジ、ミミズ、カタツムリ、イモムシなど、多くの紐状の身体を持つ動物たちは、その体を進行方向に伸縮させることによりロコモーションを行っている(1次元的這行と呼ぶ)。その際、からだのある部分は基質(地面)をふんばっており、またある部分は基質に対しその位置をずらしている。これらが時間的空間的にうまくコーディネートされることで、前方への重心移動を実現しているのである。我々は、このような1次元的這行を記述するモデルとして、自然長可変バネで1次元的に連結された質点が粘性基板上を運動するという系を考える。さらに、この離散的記述である系の連続極限をとると系の発展方程式がソース項付きの拡散方程式

$$\eta \partial_t u = E \partial_x (\partial_x u - e)$$

となる。ここで  $\eta$  は基質上での踏ん張りの度合い(粘性摩擦係数)、 $e$  は伸縮の度合いを表している。系に方向性のある運動を実現するためには、粘性摩擦係数に空間的変調が存在することが必要だが、我々はその効果に対する摂動論的取り扱いを提案した。ここでは  $e$  が正弦進行波

$$e = e_0 \sin(kx - \omega t)$$

として与えられるとして、 $\eta$  の取り方に応じてどういうロコモーションが生じるかを考える。特に  $\eta$  が  $e$  の周期に対応したパルス的なものである場合について解析を行った。系が位相波と同じ向きに進むのは、摩擦が定数である場合に対応する解  $u^{(0)}$  が負の速度を持つところにアンカーを打てばよく、逆の向きに進むのは  $u^{(0)}$  が正の速度を持つところにアンカーを打てばよいことがわかる。これは、位相波と同じ向きに進むには、からだの伸びた部分をアンカーし、逆の向きに進む場合はからだの縮んだところをアンカーすることになる。これらの事実は、古くから観察や考察を通して知られていることではあるが、理論的にシステマティックに示せるところが良い点である。現実の問題では、ポイントアンカーということはないので、最適なアンカーのタイミングは  $\eta$  の形を決めた上で数値的に求めることになる。

この1次元這行の原理は、ムカデ(位相波と逆向きに進む)やヤスデ(位相波と同じ向きに進む)の多脚歩行をも完全に説明する。すなわち、腹足類や環形動物などの脚の無い這行と、多足類の脚を使った這行は同じ原理に立脚しており、このことから環形動物から多足類への進化の中で、這行という運動様式が連続的に継承されたことを強く示唆してい

るのである。基質との接触部位が腹面から脚先端に変化したことで、伸縮率が大きくなり、また高速で波を送ることができるようになった。その帰結として、多足類は脚を持たない這行動物たちに比べてはるかに速く移動できるようになったのであり、その点が「進化した」と言える点である。

#### 4. 10 腹足類の這行運動における粘液の役割 (小林グループ、中垣グループ)

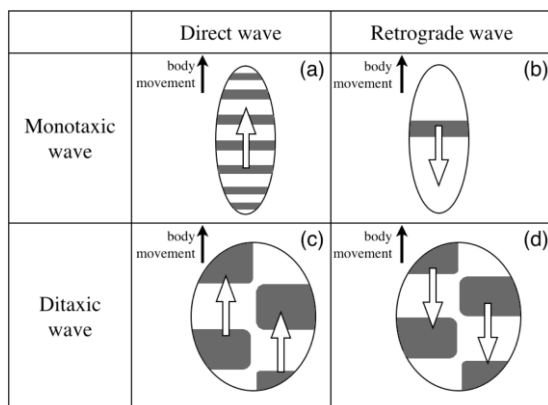


図 1: 筋収縮波パターン

這行 (しゃこう) 運動は、脚を持たない生物にとって最も基本的な移動戦略の一つである。ナメクジやカタツムリなどの腹足類にも、這行を用いて移動する種が数多くいる。腹足類の這行運動では、地面と接する平らな軟体部 (腹足) に筋収縮の波が観察され、この周期的な筋収縮波は、重心の移動方向と比較して、同方向であれば Direct wave (図 1(a, c))、逆方向であれば Retrograde wave (図 1(b, d)) と分類される。

一方、腹足を覆う粘液には、湿度や塩分濃度を調節する役割の他にも、足を地面に吸着する際の接着剤としての役割や移動

する際の潤滑剤としての役割を持つと考えられてきた。しかし、Denny によりバナナナメクジの粘液が持つ動的粘弾性特質が報告され、粘液は這行運動において推進力を生み出す重要な役割を持つことが示唆されたが、その運動機構については未だ明らかになっていない。特に、既存の数値モデルやロボットでは軟体動物特有の柔軟な筋収縮が実現されておらず、粘液と筋収縮の相互作用と Direct wave と Retrograde wave という 2 つの運動様式との関連性は明らかではない。

我々は、粘液の這行運動における役割を明らかにするために、柔軟な筋収縮と粘液の動的粘弾性の相互作用を記述したシンプルな 1 次元バネ質点系モデルを構築した。モデルの数値シミュレーションにより、粘液が持つヒステリシスループの性質が這行運動の実現において重要であることがわかった。

さらに、これまで異なるメカニズムとして理解されてきた Direct wave (図 2(a)) と Retrograde wave (図 2(b)) という 2 つの運動様式がひとつのメカニズムで実現されることが明らかとなった。2 つの運動様式の選択を決定づけるのは、粘液の特徴的な性質である内在的なヒステリシスループの 2 つの閾値  $F_u$ ,  $F_l$  (図 3) と筋肉の性質である伸縮率  $\alpha$  と硬さ  $\kappa$  (図 4) であることがわかった。

これまで動的粘弾性特質が調べられたのがバナナナメクジのみであった。果たして他の種の粘液も同様の性質を持つのか、モデルは這行運

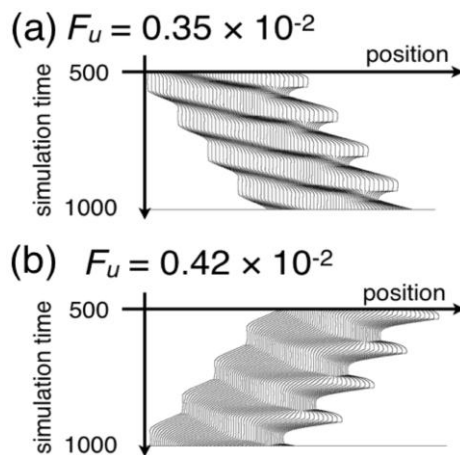


図 2: 各質点の時空間プロット

動する腹足類の多くの種の運動を記述するモデルとなっているのかを検証するために、ナメクジやツブガイなどの種に対してレオロジー測定を行った。詳細なデータはまだ得られていないが、バナナナメクジと同様の波形が採取した全ての種で見られ、腹足類の粘液が弾性固体と粘性流体の2つの性質をスイッチングする特徴を持つことが示唆された。一方、数理モデルを数学的な視点から考えると、運動様式を選択を分岐現象として捉えることができる。今後の数学的な解析へと繋げていく予定である。

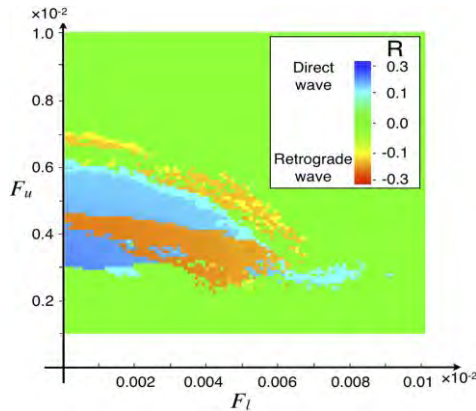


図3: 粘液の性質と運動様式の関係

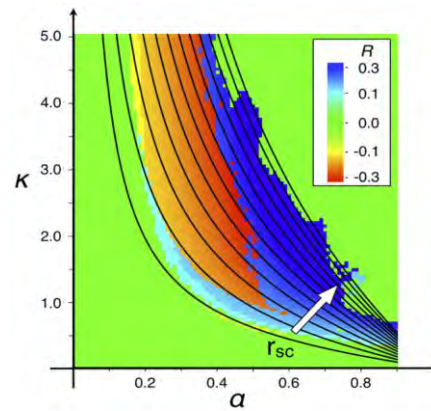


図4: 筋肉の性質と運動様式の関係

#### 4. 11 アワビ・サザエの2列這行モデル (小林グループ)

ナメクジやカタツムリといった腹足類は、腹部全体が腹足とよばれる平らな足となっており、この腹足に筋肉の収縮波を伝播させることにより、這行(這って移動すること)を可能としている。這行しているナメクジは、腹足の後部から前部へ一列の進行波を送っていることが知られているが、アワビなどの一部の腹足類では、左右二列の進行波が互いに反位相の進行波を送りながら這行することが知られている。我々はこれらの左右反位相の進行波がいかなるメリットをもたらすかについて、我々は移動速度という観点から研究を行った。

我々は弾性体を粗視化することにより、質点が可変自然長バネにより梯子状に繋がった数理モデルを構築した。このモデルの概略図を図1に示す。オレンジで表された部分がそれぞれ左側、右側の腹足に対応しており、伸縮と質点の摩擦制御を行うことで前進することができる。本モデルでは、左右の腹足はそれ単体でも前進を行うことができるが、左右を結ぶ筋肉(バネ)が存在し、それ自体も能動的に収縮力を発生させることができるという特徴がある。この左右を繋ぐ筋肉の伸縮のタイミングと移動速度の関係を調べた結果、しかるべきタイミングで左右の架橋部を収縮させることにより、反位相進行波這行は同位相進行波這行より速く移動することができるということがわかる。また、進行波の波の数が小さいほど架橋部の振動の恩恵が大きいということがわかった。

体の長さを波の波長で割ったものを便宜的に波数と呼ぶとすると、本モデルでは、波数が0.5を下回ると、一周の間に片側の腹足全体が接地している時間と、全体が浮いている時間が現れてしまう。一列のみの這行では全体が浮いてしまうのは、岩に張り付いて生きる生物としては問題があるため、二列の這行は接地させる面積の変動を小さくする効果もあると考えられる。また、波数が0.5よりも小さい生き物として、左右の腹足が分離しているサザエなどが考えられ、本モデルではこのような場合でも這行を行う

ことができるため、アワビ、サザエを包括した左右非対称這行のモデルであるといえることができる。

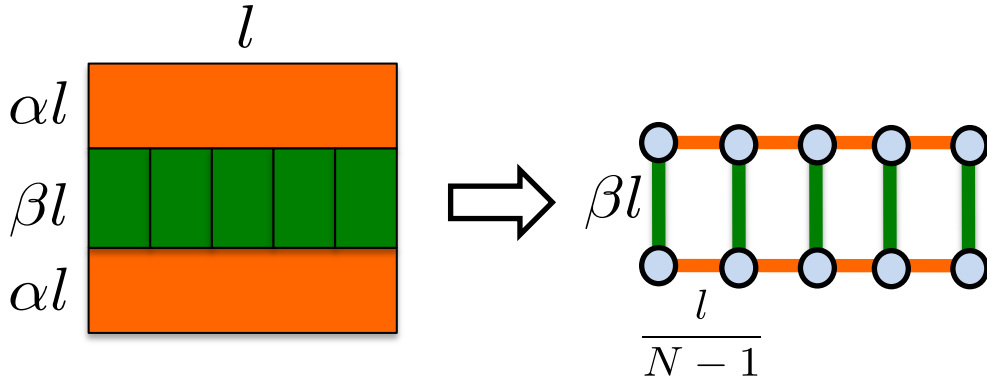


図1. 弾性体を分割し、質点と可変長バネで表現した。オレンジ色の部分が左右の腹足、緑色の左右を繋ぐ筋肉（架橋部）を表している。

#### 4. 12 ヒラムシに学ぶシート状構造のソフトロボティクス（小林グループ）

生物に学ぶことで、ソフトロボティクス創設に向けた取り組みを行った。注目した生物は扁形動物門渦虫綱ヒラムシ目（以下ヒラムシ、図1）である。骨格や体節を持たない無脊椎動物である扁形動物は、系統的には前口動物と旧口動物の中間に位置づけられ、神経進化的には脳を持ったはじめての生物であると考えられ、生物学的に興味深い生物である。その中でも海産性の自由生活を営むヒラムシは、ほぼ楕円形の平たく柔らかで単純な身体構造ながら、海底を這ったり（這行）、海中を泳いだり（遊泳）、多様なロコモーション様式を持つ点が運動学的に興味深い。我々は実際のヒラムシを観察することで、柔らかく平たい“シート状構造”が、どのように外界と相互作用すれば効率的な推進力が生み出されるのかについて調査した。さらに、観察によって得られた推進原理を、ソフトロボットに応用させる試みを行った。具体的な研究成果は、次の2つである。①ヒラムシの這行の運動解析。②ヒラムシ型遊泳ロボットの開発。以下順を追って説明する。

##### ①ヒラムシ這行の運動解析

扁形動物は環境に応じて多様な運動モードを示すことが知られている。プラナリアを例にとると、環境によって、筋繊維の収縮運動を伴う運動（ルーピング運動）や、主に繊毛を使ったグライディング運動が見られる（図1A）。ヒラムシを例にとると、前方を左右交互に押し出しながら運動したり、左右をほぼ対照的に動かして運動するモードがある（図1B）。こうした運動モードの多様性を実験により観察・定量し、シート状構造の運動多様性を調査・議論した。

さらに、上述の左右非対称な運動に特に着目し、その運動メカニズム解明に向けた実験的研究を

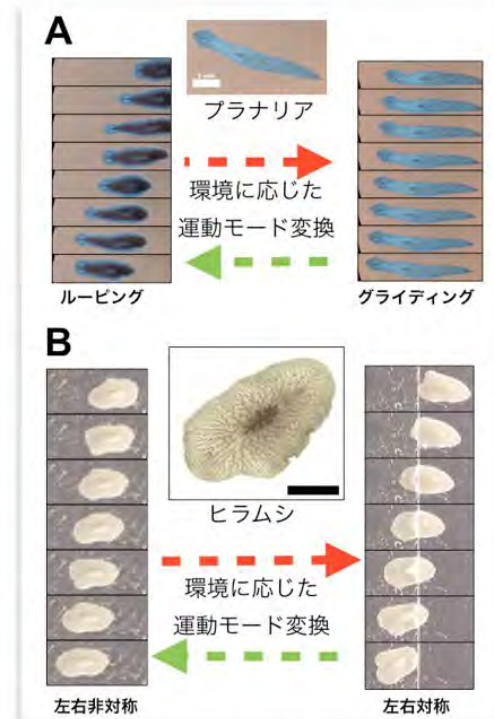


図1 扁形動物に見られる環境適応的運動多様性。A プラナリアのルーピング運動とグライディング運動。B. ヒラムシに見られる左右非対称運動と対称運動。

行った。その結果、腹足類など、他の生き物にはない独特の運動（前方左右交互アンカリング）をすることが分かった（図 2 A）。また、この運動について数理モデルをたてて（図 2 B）、環境との相互作用の仕方の違い（具体的には、後部の摩擦係数の変化）に応じて、運動効率が変化することを突き止めた（図 2 C）。

## ②ヒラムシ型遊泳ロボットの開発

ヒラムシのはばたき遊泳運動に焦点をあて、これに着想を得た遊泳ロボットを構築した。1枚のゴムシートというソフトボディーと、サーボモータ3つで構成される、シンプルなソフトロボットを提案した。小数自由度制御ながら、パラメータを変化させると、前進、ホバリング、後退など、多様な運動モードが出ることを明らかにした（図 3 C, D）。

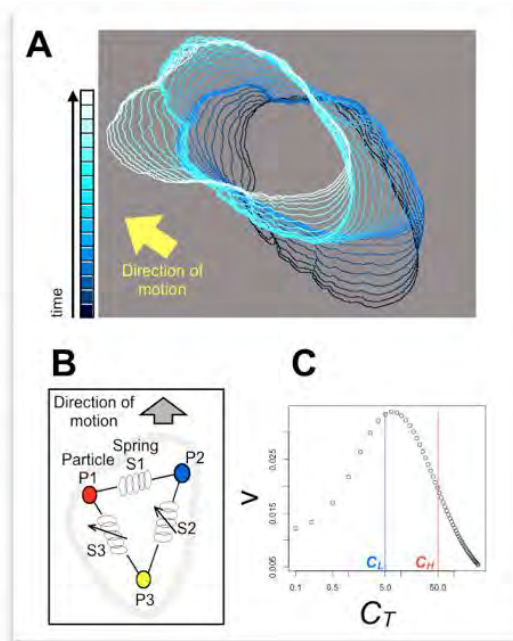


図 2 ヒラムシの左右非対称推進運動と数理モデル。A. アウトラインの時間変化。B. 3 質点モデル。C. 後部摩擦を変化させた場合の速度変化。

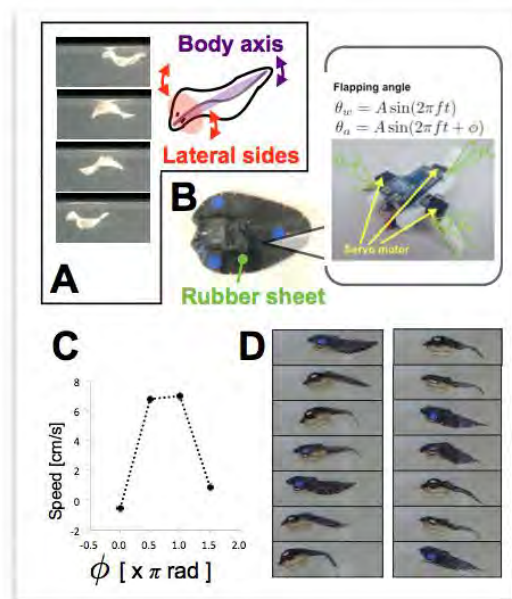


図 3 ヒラムシのはばたき遊泳をロボットで再現する試み。A. ヒラムシのはばたき遊泳。B. 構築したロボットの概観と制御。C. 位相差を変化させた場合の速度変化。D. 遊泳運動のスナップショット（左： $\phi=1.0\pi$ の時前進、右： $\phi=1.5\pi$ の時ホバリング）。

## 4. 13 OSCILLEX - 脚間の力学的相互作用を活用した CPG 制御に基づく四脚歩容遷移の実験的検証（石黒グループ）

本研究では、脚間の力学的相互作用を活用した脚間協調に焦点を当てた議論を行うため、以下の 3 つの単純化を行う：

- (1) 一本の脚を一つの位相振動子を用いて制御する
- (2) 脚内協調を無視するため、脚の構造は膝や足首のない単純な一本脚とする
- (3) 脚間の力学的相互作用の役割を明確にするため、位相振動子間の神経的結合を排除する

以上の単純化をふまえ、制御方策として、身体を介した脚間の物理的状態を反映する脚の力覚情報をフィードバックすることにより位相修正を可能とするオシレータモデルを提案

する。筆者らはこの設定に基づいた実機を製作し、本提案手法の妥当性の検証を行った。その結果、定常状態での安定的な歩行のみならず、速度変化に対応して、スムーズかつ自発的な歩容遷移の発現が確認された。

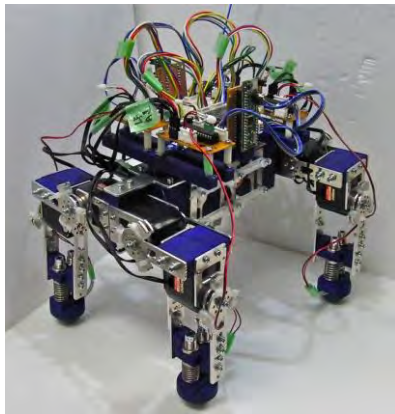


図1 ロボット実機

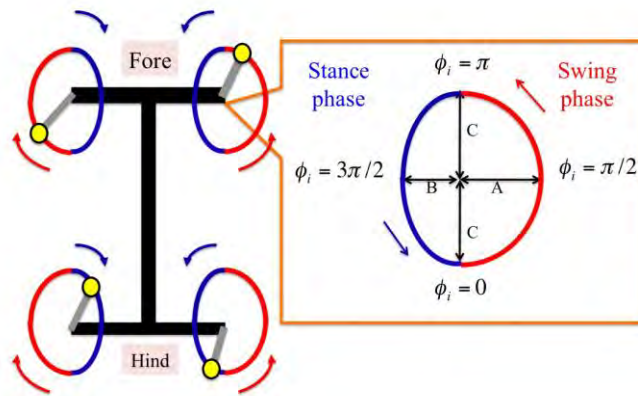


図2 位相振動子の位相に対する脚先位置

本手法における位相の時間発展式は次式で表される：

$$\dot{\phi}_i = \omega - \sigma N_i \cos \phi_i \quad (i = LH, LF, RH, RF)$$

ここで  $\omega$  は角周波数であり、実機の移動速度に関わる。右辺第 2 項は機構系から制御系への局所センサフィードバックを表し、本モデルの要となる項である。 $N_i$  は圧力センサによって検出される接地時に脚が地面から受ける力であり、 $\sigma$  はフィードバックの大きさを表す正の定数である。この式だけを見ると、振動子間に相互作用が無いように見えるが、身体を通した相互作用（例えば 1 本の脚が遊脚になると、他の支持脚への荷重が増えるというような関係）が存在することは言うまでもない。本モデルおよび局所センサフィードバックの妥当性を検証するために、静止状態から歩行を開始する定常歩行実験、および歩行速度の変化による歩容遷移実験を行った。

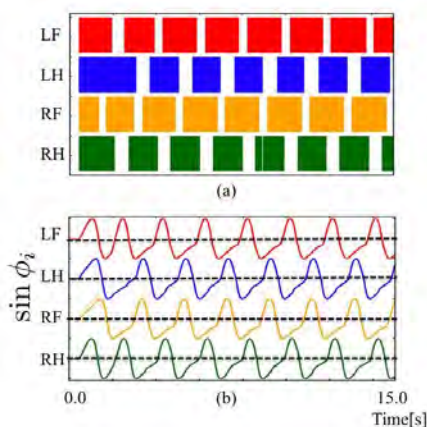


図3 定常歩行のゲートダイアグラム

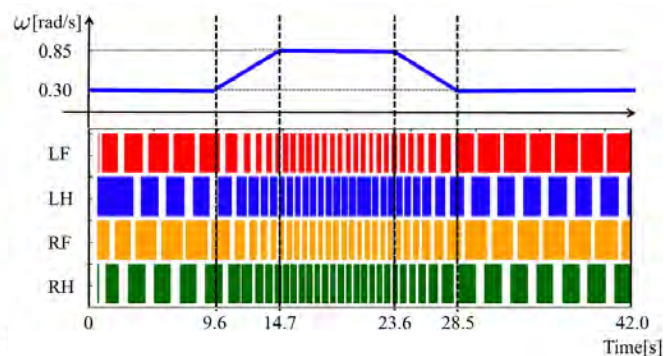


図4  $\omega$  の変化によるウォーク・トロット間の歩容遷移

まず、定常歩行実験結果（図3）に示されるように、実験開始直後に位相が引き込まれ、左後脚（LH）、左前脚（LF）、右後脚（RH）、右前脚（RF）の順で脚が接地するウォーク歩容が即座に発現している。実験の開始直後は、各脚の位相が急激に修正されているのがわかる。



同図から、支持脚期後期 ( $3\pi/2 \leq \phi_i < 2\pi$ ) では、重心移動が不完全なため、脚にかかる力  $N_i$  が存在し、バランスを保つために位相を遅らせる効果が働き、支持脚であり続けようとする様子が見てとれる。次に、速度変化による歩容遷移実験の結果を図4に示す。遅い速度領域から速い速度領域への変化（ウォークからトロットへ）、および速い速度領域から遅い速度領域への変化（トロットからウォークへ）のどちらの場合についても、適応的な歩容の遷移の発現とともに、安定的な歩行の継続が確認された。以上の結果から、本手法を用いることにより、速度領域の異なった歩容間においても、自身の歩行速度の変化に応じて適応的な歩容の生成が可能であることが確認された。

本研究では単純な機構からなる四脚ロボットを用いて実験を行い、脚間協調における力学的相互作用の重要性を考察した。実験の結果、静止状態からの安定的な定常歩行のみならず、移動速度変化に応じた歩容の遷移の発現も確認された。以上から、神経的な結合を用いずとも、身体特性に起因した脚間の力学的相互作用を積極的に活用することにより、状況に応じた自発的なロコモーション生成が可能であると確認された。今後の予定としては、本稿で紹介した実機を用いて、脚長や肩幅、体長、背骨の柔軟性といった身体パラメータの変更によるトロットとペースの排他的出現の検証、および高速度領域でのロコモーション生成が可能な実機の開発を行っていく予定である。

次に、低速-高速領域間の歩容遷移の再現を試みるために、OSCILLEX3 と呼ばれる新しい4脚ロボットを製作した。実験の結果、神経的結合パターンを用いなくとも、各脚の位相振動子の角周波数  $\omega$  [rad/s] の変化のみによって、低速の walk から、中速の trot、さらには高速の bound への歩容遷移を世界で初めて実験的に再現することに成功した。また、興味深い結果として、実際のウマが trot (中速) から gallop (高速) への歩容遷移過程において発現する canter という、非対称な3拍子の歩容をも再現していることを確認した。さらに、エネルギー効率の指標である cost of transport (COT) を計測した結果、ウマなどの四脚動物が発現する歩容のエネルギー効率と同様に、中速では trot、高速では bound がエネルギー的に最小となる歩容であることが確認された。このように、四脚動物に見られる多くの歩容を再現可能である事実を踏まえると、われわれの提案した CPG モデルは四脚動物の脚間協調メカニズムの本質を抽出していると考えられる。さらに、trot-bound 間の歩容遷移の背後に潜む力学的構造として、力学系の分岐理論にて説明しうる力学構造が内在していることが明らかになりつつある。詳細な解析結果は近日公表する予定である。

#### 4.14 アリの輸送ネットワーク (小林グループ、中垣グループ)

多くのアリが餌と巣穴を結ぶ行列を作ることは周知の事実であるが、アルゼンチンアリの行列は地上で複数の巣穴を結ぶという変わった性質をもっている。このアリの生み出す地上のネットワークの性質を画像解析により調べた。

実験では、アリーナの底に巣へと通じる穴を等間隔で穴をあけ、そこから個々の巣穴へ入りできるようにした。図1に典型的な4つの巣穴を結ぶ経路ネットワークの例を示す。このように、同じ条件下であっても様々なネットワーク構造が現れることを発見した。この現れるネットワークの種類は、4点の餌場を結ぶ粘菌のネットワークと類似している。我々は実験に用いるアリの数がある程度以上多いと、ネットワークの全長が長くなり、断線に対して強くなるという結果を得た。また、このネットワークの時間発展に目を向けると、次に述べる共通の性質を持っているということがわかった。ネットワーク経路全長の時間発展の様子を示したものが図2である。実験開始直後、巣穴からでたアリ達はランダムに動き回るのでネットワークの全長は0であるが、徐々に複数の経路を延ばしていき、実験開始から2時間後あたりで全長が最大値を示す。その後、交通量の多い経路のみが生き残るというフェ

イズにはいり、定常状態に落ち着くということが分かった。

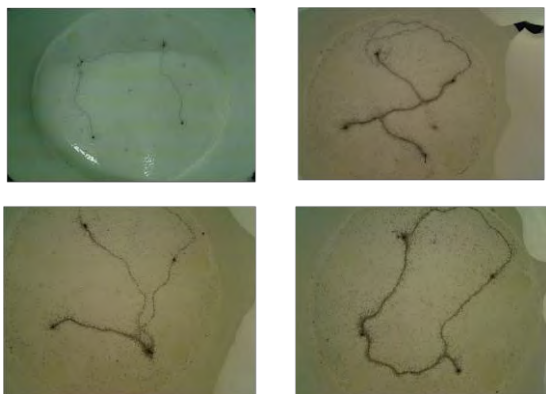


図 1. 四点の巢穴を結ぶアリの行列のネットワーク。必ずしもネットワークの全長を最小にするわけではなく、様々なパターンが現れることがわかる。

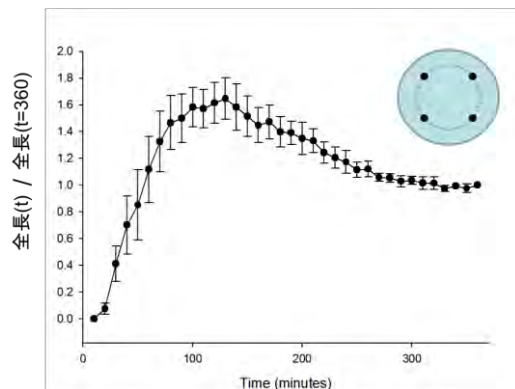


図 2. ネットワーク経路の全長の時間変化. 個々の実験について得られた全長の時系列を  $t=360$  で全長が 1 となるように個別に規格化し、それらの平均をとったもの. 明らかに  $t=120$  付近で最大値をとっていることがわかる。

#### 4. 15 細胞レオロジー特性の基礎となるアクチン溶液のシアバンド現象 (中垣グループ)

アメーバ運動の基本となる原形質のレオロジー特性を解明するために原形質類似溶液(アクチン溶液)の性質を調べた。収縮性タンパク質であるアクチンはどの細胞にも含まれており、細胞運動や形態形成に重要な役割を担っている。細胞はある意味でアクチン溶液ともいえる。我々は、アクチン繊維の溶液がシアバンド現象を示すことを発見した。シアバンド現象とは、一様なずり流れが異なるずり速度をもつ二つの巨視的な領域に自発的に分離する現象である。F-アクチン溶液にずりをかけ徐々にずり速度を上げていく時、応力が一定になる領域(応力プラトー)が現れる。これは、シアバンドによって粘性の高い領域と低い領域に分離し、全体の応力が一定に保たれるように二つの領域の比率が変化することによってもたらされる(これをレバールールという)。ただし、ある値以上のずり速度を与えてしばらくの間は、応力プラトーが現れなく、これまで知られているシアバンド現象よりも動的で複雑な性質を有している。何れにしても、単純な生物高分子において初めてシアバンドが認められたことに違いはない。F-アクチンのシアバンド性が細胞機能とどのように関連するかは、今後の課題である。一ついえることは、アメーバが仮足を出す時、

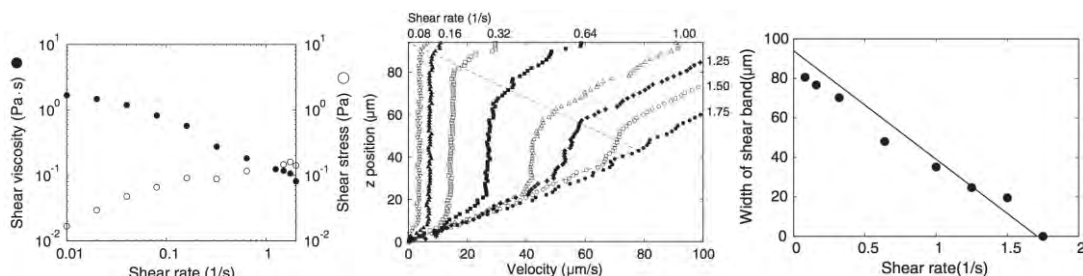


図 2. (左図) ずり応力とずり速度の関係。ずり速度 0.1-2.0  $\text{s}^{-1}$  の範囲で応力プラトーが見られた。(中央図)  $z$  軸方向の流れ速度プロファイル。ずり速度が上がるにつれて低粘性領域の比率が上昇した。(右図) ずり速度と高粘性領域の幅の関係。直線関係が見られたことから、レバールールが成立することがわかった。

あるいは細胞内で原形質流路を作る時、原形質のもつシアバンド性が寄与する可能性は高

いと思われる。

#### 4.16 真正粘菌変形体の進展パターンの数理モデル (小林グループ)

1次元的なレーンにおける変形体の進展の仕方を実験的に検証し、左右に対称的に進展する場合と、1方向に優先的に広がる場合の2通りがあることを確認した。後者の場合には、進展した変形体の先端がレーンの端の行き止まりに到達した後、反対方向への進展が開始されることが観察された(図1)。

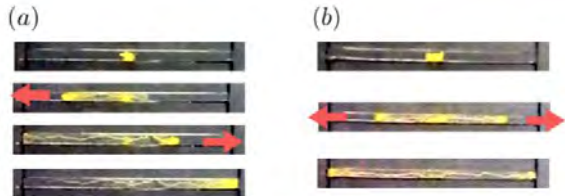


図1 (a)非対称進展 (b) 対称進展

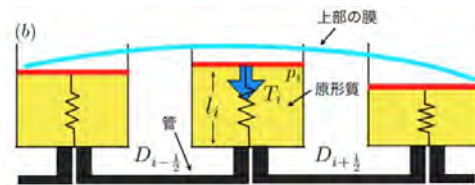


図2 直列シリンダーによるモデル化

我々は、変形体を1次元的に連結されたシリンダ系としてモデル化を行った(図2)。各シリンダは原形質が満たされていると考え、ピストンはアクチン-ミオシン系を模した自然長が時間的に変化する能動バネによって駆動されると仮定し、その自然長は位相振動子により制御されているとした。位相振動子には、齟齬関数によるフィードバックを仮定し、さらに能動バネの長さを揃える方向への力学的な復元力がかかるとした。このベーシックモデルに加えて、端にあるシリンダの外側に新しくシリンダを付け加えることで、変形体の進展を表現した。この進展のルールを記述するために、我々は粘度(ゲル化率)という指標を導入し、その変化則を与えた。この数理モデルによって、1次元レーン状の進展実験で見られた対称進展と非対称進展の2通りのパターンを再現することができた。特に、非対称進展における反転現象も再現し、その解釈を与えることに成功した。このモデルを2次元化することで、这回る変形体のプロトタイプモデルを提案した(図3)。

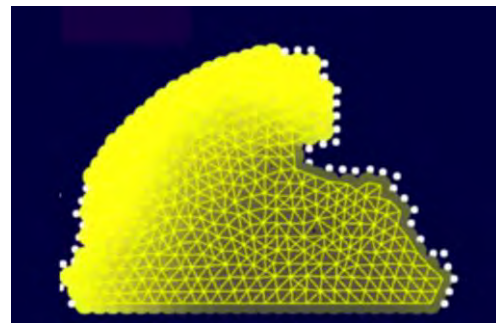


図3 2次元モデルのシミュレーション

#### 4.17 粘菌のリスク対応 (小林グループ、中垣グループ)

粘菌は餌同士を管で結び、ネットワーク構造を作る。粘菌の生み出すネットワークは多くの場合分断することなく連結な状態を保ったまま成長するのだが、自ら管を切断させるということもある。余剰な管を消すことは、常に行われており、部分的に粘菌の嫌いな光を照射した場合などはそこから撤退することが知られている。では、光の当たる領域が時間と共に変動する場合、粘菌はどのように振る舞うのだろうか？

我々は、図 1(a)のように、粘菌の上に三つの餌を等間隔に配置し、この初期状態から、右の領域、左の領域、右の領域…と交互に時間  $P$ (分)ずつ光を照射した<sup>6)</sup>。このときの光の照射パターンを図 1(b)に示す。実験開始から6時間後の結果の典型例を図 1(c), (d), (e)に各二種類ずつ示す。また、これらの結果の統計をとった物を図 2 に示す。このように、間隔  $P$  の長さにより、最終的に得られるネットワーク形状が大きく変わった。

図 1(d)に示すように、切り替え間隔  $P$  が 60 分のときは、初めに光照射した右側だけが断線し、左の管は存続した。トータル照射時間は同じにもかかわらず、である。左側の管が切れると、三つの餌場所は連結でなくなる。連結性を失うような最後の管は切れにくいのかもしれない。図 1(d)は、 $P$  が 90 分のときの結果を示している。左右の管はいずれも消失した。ところが底辺の管は存続し、かろうじて餌場所がつながりを保った。底辺の管は常に半分しか光を浴びないことが効いていると考えられる。

我々は既存の粘菌の数理モデルに幾つかの近似, 単純化を行うことにより, パラメータの周期変化する低次元力学系モデルを作った. そして, その解析から, この現象のからくりを考察した. そのポイントは, 「個々の管は光を浴びると細くなり, 光を浴びていないときは管の太さが回復していくが, ある程度以上細くなってしまった管は光を当てなくても回復しないどころか, むしろさらに細くなっていく」ことである. これを観察結果を再現できた. この研究の示唆することをまとめよう. 粘菌が管を形成するのにも壊すのにもコストがかかる. よって, 多少環境が悪くなくても, それは一時的かもしれないので, すぐさま管を撤去するのは得策ではないだろう. とはいえ, 光に暴露される面積はなるべく小さいほうがダメージが軽い. こう考えて結果を解釈してみる. 光の切り替え頻度がある程度高いと, 管が太くなったり細くなったりを繰り返すだけで, 断線までにはいたらない. 切り替え頻度が低くなって, 連続して長時間照射されるとき, 管は撤去される. このような行動は, 良くない環境が持続するのかどうかという不確定な未来のリスクを先取りした, ある種のリスクマネジメントとも考えることができる.

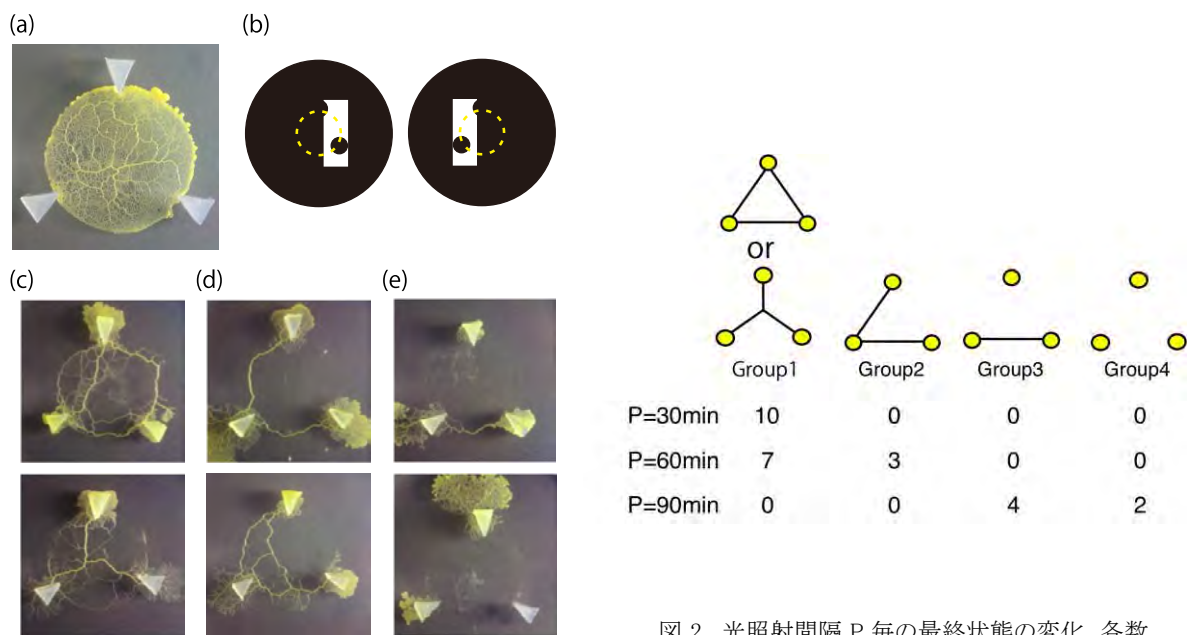


図 1. 光照射領域を切り替える実験. (a) 初期状態 ( $t = 0$ ) 円の半径  $r = 30\text{mm}$ , (b) 照射する光パターン, 点線部分が粘菌の輪郭 ( $r = 30\text{mm}$ ) に対応し, 白い部分が光を照射する部分に対応する. (c)  $P = 30(\text{分})$ , (d)  $P = 60(\text{分})$ , (e)  $P = 90(\text{分})$  としたときの光照射から6時間後の典型的な管構造.

図 2. 光照射間隔  $P$  毎の最終状態の変化. 各数字はサンプル数を表している. グループ1は全ての餌点同士が他の餌を経由することなく直接繋がっている場合, グループ2は右側の管のみが消失する場合, グループ3は下の二つの餌同士のみが管で繋がる場合, グループ4は餌同士を繋ぐ管が無くなる場合に対応する.

#### 4. 18 アメーバ細胞における流れ誘導性流路形成 (中垣グループ)

巨大なアメーバ細胞である粘菌変形体の細胞質にみられる流路の形成機構を説明する流体力学的モデルを提案した. 流路形成は粘菌の管ネットワークの自己組織化機構と密接に関わるものである. 生物実験から, 原形質の流れはこれらネットワークの発達や組織化とともに発生することがわかっており, ここで提案するモデルは, 微小変形体の流路形成を観察した実験に基づいている. アクチン等の高分子ネットワーク媒体における圧力駆動流れのモデルを提案した. モデルの要点は, 流速が上がるにつれアクチン繊維の分解 (脱ポリマー

化) 速度が上昇することである。そのような、ゾルゲル二層流体モデルを定式化し、その挙動を調べた。数値シミュレーションと漸近解析から、極めて一般的な仮定のもとでこのモデルが流れに反応して流路を形成することを予告した。

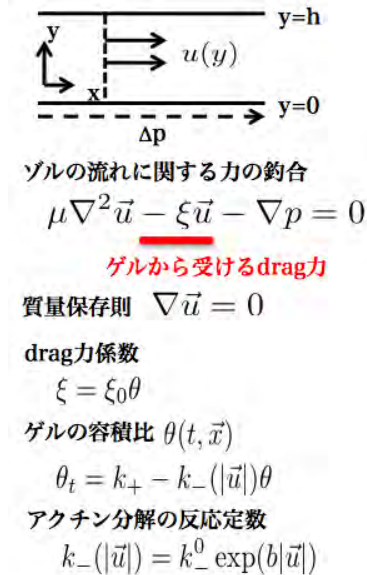


図1. モデルの概要。アクチン繊維ネットワークからなるポラス媒体中を、アクチン単体が流れる状況を想定した。二次元空間での一方向流れ(流速  $u$ ) を仮定した。ゾルの流れに対する力の釣合に、ゲルから受ける drag 力を加えた。その drag 力はゾルの流速に比例し、その比例係数はゲルの密度に依存するとした。ゾルとゲルは相互に変換し合っており動的平衡状態にあると考えられるので、流れによってゲルの破壊が促進するとした。



図2. 微小変形体での流路形成の観察。はじめ顕著な原形質流動も流路も見られないが (a, b)、流路ができるとともに (c の中央付近にある黒い筋状の領域) 活発な原形質流動が発生した。

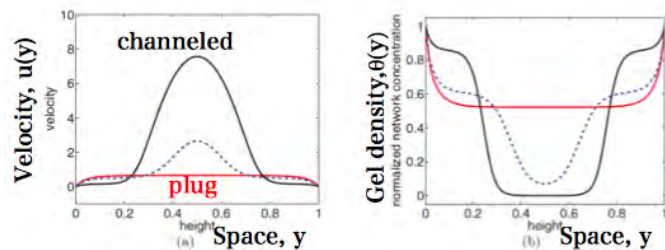
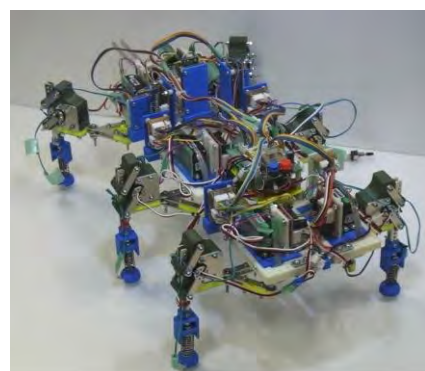


図3. モデルの数値シミュレーション。横軸は  $y$  方向の空間を示す。その空間の中央付近で流速が高く (左図)、かつゲル密度が低い (右図) 場所が生じた。これは流路である。

#### 4. 19 4脚動物と6脚動物の脚間協調メカニズムの共通性 (石黒グループ)

多脚動物は、歩行速度や身体特性、環境に応じて脚間の協調関係を巧みに変化させることで、適応的なロコモーションを実現している。このような適応的なロコモーションは、CPG(Central Pattern Generator)と呼ばれる神経回路によって自律分散的に生成されると考えられている。しかしながら、脚間協調の発現機序は依然として明らかとなっていない。

著者らは最近、4脚動物に注目し、局所的な力覚フィードバックのみによって歩容生成が可能な CPG モデルを提案した。4脚ロボットを用いて本モデルの妥当性を検証した結果、力覚を介した脚間の物理的な相互作用を活用することで、脚間の神経結合がなくとも、4脚動物の示す多様な振る舞いを再現可能であることを示



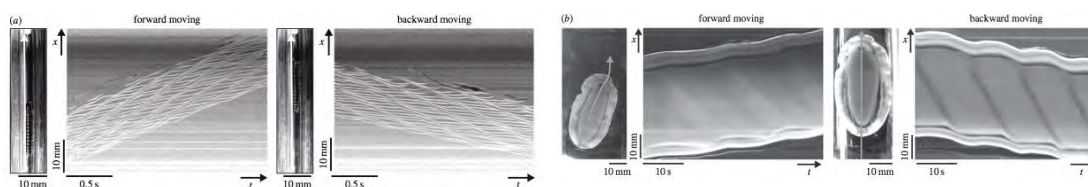
した。

本研究では、同モデルの6脚ロコモーションへの適用性を検証する。具体的には、力覚を介した脚間協調メカニズムのみから6脚動物の示す歩行が再現可能かを検証する。この検証のために6脚ロボットを製作して実験を行った。

4脚の場合と同様に局所的な力覚フィードバックのみを用いた脚間協調メカニズムを実装したところ、実際の昆虫が示す歩容とは異なる歩容も生成されることがわかった。これは、4脚の場合には実際に4脚動物が示す歩容と同じものが発現していたこととは大きく異なる。このことは、6脚の場合には力覚を介した脚間の物理的相互作用以外に、神経的(情動的)な相互作用も必要である可能性を示唆している。今後はこの点に関してさらに深く考察していく。

#### 4. 20 脚式と非脚式の這行ロコモーションにおける運動モードスイッチングの共通力学(小林グループ、石黒グループ、中垣グループ)

筋肉の収縮波を用いた這行運動は、多くの生物種にわたり広く見られる。たとえば、プラナリア、ヒル、アメフラシ、ナメクジ、ヒザラガイ、ミミズ、など。収縮と弛緩の波が、体の前後軸に添って伝播すると、体が地面を後方に蹴って体自身はその反作用で前進する。しかしながら、この運動波は前向きと後ろ向きのどちらもあって、過去百年にわたり注目されてきた。ムカデやヤスデのように脚式這行動物でも、実は同様のことがある。すなわち、足先に注目すると疎密の波が体軸に添って伝播し、やはり前向きと後ろ向きの場合がある。近年の力学解析により、脚の疎密波は、非脚式這行の筋肉波と移動運動において同じ役割をすることが解明され、脚式と非脚式の這行運動は共通の機構をもつことがわかった。そこで、我々は、様々な動物を実験室内で強制的に後退させたときの這行運動を観察し、後退運動実現のために波の伝播向きや接地摩擦を変更して運動様式を切り替える(モードスイッチングと呼ぶ)ことを見いだした。そして、様々な異なる動物のモードスイッチング方式は多様であること、さらにその多様性は力学解析によれば二つの基本形に分類できること、を示した。これらの結果を踏まえて我々は、進化過程において非脚式動物は、脚の獲得以前からすでに歩行と同様の運動様式を獲得していたという説を唱えた。したがって、脚式動物は、脚獲得のずっと以前から歩行運動様式を習得していたのであろうという結論を得た。



図：後退運動に伴う運動モードスイッチングの例。4つの図のうち左側二葉と右側二様がそれぞれ、ヤスデとヒザラガイの結果である。各動物について、左側の図が前進時、右側の図が後退時。どの図も横軸が時間、縦軸が前後体軸に添った空間軸であり、足並みや筋肉の疎密波を示す。ヤスデは、後退時には波の向きを反転させるが、ヒザラガイは波の向きは変えずに接地摩擦の取り方を切り替える。

## § 5 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 3件、国際(欧文)誌 58件)

1. T. Umedachi, T. Kitamura, T. Nakagaki, R. Kobayashi and A. Ishiguro : “A modular robot driven by protoplasmic streaming”, Proceedings of DARS2008 (2008)
2. K. Takeda, T. Umedachi, T. Nakagaki, R. Kobayashi, and A. Ishiguro: “Taming Many Degrees of Freedom: Fully Decentralized Control of a Soft-bodied Robot Inspired by True Slime Mold”, 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) Workshop/Tutorial Proceedings, CD-ROM (2009)
3. W. Watanabe, T. Sato and A. Ishiguro, “A Fully Decentralized Control of a Serpentine Robot Based on the Discrepancy between Body, Brain and Environment”, Proc. of 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2421-2426 (2009)
4. A. Ishiguro, T. Umedachi, T. Kitamura, T. Nakagaki and R. Kobayashi : and Systems, 2421-2426 (2009)が前後体軸に添った空 ol of an amoeboid robot by exploiting the law of conservation of protoplasmic masss, 2421-2426 sed on the Discrepancy b
5. A. Tero, S. Takagi, T. Saigusa, K. Ito, D.P. Bebber, M.D. Fricker, K. Yumiki, R. Kobayashi, T. Nakagaki, “ Rules for biologically-inspired adaptive network design”, Science, 327, 439-442 (2010) DOI: 10.1126/science.1177894
6. T. Umedachi, K. Takeda, T. Nakagaki, R. Kobayashi, and A. Ishiguro: “Fully Decentralized Control of a Soft-bodied Robot Inspired by True Slime Mold”, Biological Cybernetics, Vol.102, Issue 3, pp.261-269 (2010) DOI: 10.1007/s00422-010-0367-9
7. A.Tero, T. Nakagaki, K. Toyabe, K. Yumiki and R. Kobayashi : "A method inspired by Physarum for solving the Steiner problem", International Journal of Unconventional Computing 6, 109-123 (2010)
8. Takuya Umedachi, Koichi Takeda, Toshiyuki Nakagaki, Ryo Kobayashi, and Akio Ishiguro, sarum for solving the Steiner problem", International Journal of Unconventional Computing 6, 109-123 (2010)p.261-269 gs of IRO . DOI 10.1007/s00422-010-0367-9
9. Masahiro Shimizu and Akio Ishiguro, asahiro Shimizu and Akio Ishiguro,hiyuki Nakagaki, Ryo KobayashInternational Journal of Unconventional Computing, 6-2(2010), 145-161
10. 大脇 大, 坂井善行, 石田 怜, 手老篤史, 石黒章夫, 運動安定化と運動探索をシームレスに統合可能なマルチリズムオシレータモデルの提案 —次元ホッピングロボットの跳躍運動への適用—, 計測自動制御学会論文集, 46-9 (2010), 562-571
11. 梅舘拓也, 武田光一, 中垣俊之, 小林 亮, 石黒章夫, 真正粘菌変形体から着想を得た自律分散制御方策の実験的検証, 計測自動制御学会論文集, 46-11 (2010), 706-712
12. Kentaro Ito, David Sumpter, Toshiyuki Nakagaki : “Risk management in spatio-temporally varying field by true slime mold”, NOLTA (Nonlinear Theory and Application) journal, IEICE, vol.1 (2010), 26-36
13. Tomoyuki Miyaji, Isamu Ohnishi, Ryo Kobayashi and Atsuko Takamatsu : 次元ホッピングロボットの跳躍運動への適用—, 計測自動制御学会論文集, the Steiner problem", International Journal of Unconventional Computing 6, 109-123 (2017
14. Kei-ichi Ueda, Seiji Takagi, Yasumasa Nishiura, and Toshiyuki Nakagaki : “Mathematical model for contemplative amoeboid locomotion”, Physical Review E 83, 021916 (2011). DOI: 10.1103/PhysRevE.83.021916

15. Tanya Latty, Kai Lamsch, Kentaro Ito, Martin Middendorf, Toshiyuki Nakagaki, Madeleine Beekman: “Construction of self-organized transportation networks in the polydomous Argentine ant”, *Journal of The Royal Society, Interface*, doi:10.1098/rsif.2010.0612, 2011
16. Dai Owaki, Satoshi Ishida, Atsushi Tero, Kentaro Ito, Koh Nagasawa, and Akio Ishiguro, An Oscillator Model That Enables Motion Stabilization and Motion Exploration by Exploiting Multi-rhythmicity, *Advanced Robotics*, 25-8, 9 (2011)
17. Yoshimi Tanaka, Toshiyuki Nakagaki: “ Cellular computation realizing intelligence of slime mold *Physarum polycephalum*”, *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, Vol. 8, 383-390 (2011). invited review, DOI: 10.1166/jctn.2011.1702
18. Y. Tanaka, K. Ito, T. Nakagaki, and R. Kobayashi : “Mechanics of limbless crawling driven by contraction waves and friction control”, *The Royal Soc. Interface*, vol.9, no.67, 222-233 (2012). ( doi:10.1098/rsif.2011.0339)
19. R. D. Guy, T. Nakagaki and G. B. Wright : “Flow-induced channel formation in the cytoplasm of motile cells”, *Physical Review E*, 84, 016310 (2011). (DOI:10.1103/PhysRevE.84.016310)
20. M. Ima and T. Nakagaki : “Transport and mixing of chemicals inside the body of a micro-organism”, *Journal of Mathematical Medicine and Biology*, accepted (2011) (doi: 10.1093/imammb/dqr010)
21. Kei-ichi Ueda, Seiji Takagi, Yasumasa Nishiura, and Toshiyuki Nakagaki : “Mathematical model for contemplative amoeboid locomotion”, *Physical Review E*, 83, 021916 (2011). (DOI 10.1103/PhysRevE.83.021916)
22. Shin Watanabe, Atsushi Tero, Atsuko Takamatsu, Toshiyuki Nakagaki: "Traffic optimization in railroad networks using an algorithm mimicking an amoeba-like organism, *Physarum plasmodium* ", *Biosystems*, Vol. 105, 225-232 (2011)
23. Tanya Latty, Kai Pamsch, Kentaro Ito, Toshiyuki Nakagaki, David J. Sumpter, Martin Middendorf, Madeleine Beekman: “Structure and formation of ant transportation networks”, *Journal of The Royal Society, Interface*, (2011). (DOI: 10.1098/rsif.2010.0612)
24. Dai Owaki, Satoshi Ishida, Atsushi Tero, Kentaro Ito, Koh Nagasawa, and Akio Ishiguro, “An Oscillator Model That Enables Motion Stabilization and Motion Exploration by Exploiting Multi-rhythmicity”, *Advanced Robotics*, Volume 25, Numbers 9-10, 2011, pp. 1139-1158 (DOI 10.1163/016918611X574650)
25. Takahide Sato, Takeshi Kano, and Akio Ishiguro, “On the applicability of the decentralized control mechanism extracted from the true slime mold: a robotic case study with a serpentine robot”, *Bioinspiration & Biomimetics*, vol.6 (2011) (DOI: 10.1088/1748-3182/6/2/026006)
26. Wataru Watanabe, Takeshi Kano, Shota Suzuki, and Akio Ishiguro, “A decentralized control scheme for orchestrating versatile arm movements in Ophiuroid omnidirectional locomotion”, *Journal of Royal Society of Interface*, vol.9, no.6, 2011 (DOI: 10.1098/rsif.2011.0317)
27. Takuya Umedachi, Koichi Takeda, Toshiyuki Nakagaki, Ryo Kobayashi, and Akio Ishiguro, “A Soft Deformable Amoeboid Robot Inspired by Plasmodium of True Slime Mold”, *International Journal of Unconventional Computing*, vol.7, no.6, pp.449-462, 2011
28. Takahide Sato, Takeshi Kano, and Akio Ishiguro, “A decentralized control scheme for an effective coordination of phasic and tonic control in a snake-like robot”, *Bioinspiration & Biomimetics*, vol.7, no.1, 2012 (DOI: 10.1088/1748-3182/7/1/016005)
29. Takuya Umedachi, Ryo Idei, Toshiyuki Nakagaki, Ryo Kobayashi, and Akio Ishiguro, “Fluid-filled Soft-bodied Amoeboid Robot Inspired by Plasmodium of



- True Slime Mold”, *Advanced Robotics*, vol.26, pp.693-707, 2012 (DOI: 10.1163/156855312X626316)
30. Ryo Kobayashi, Toshiyuki Nakagaki, Akio Ishiguro : “Novel Control Principle Based on the Discrepancy Function”, *RIMS Kokyuroku Bessatsu* , B31 : 61-77 (2012)
  31. Qi Ma, Anders Johansson, Atsushi Tero, Toshiyuki Nakagaki, David J. T. Sumpter: "Current reinforced random walks for constructing transport network", *The Royal Soc. Interface*, Vol. 10, 20120864 (2013). (doi:10.1098/rsif.2012.0864)
  32. Itsuki Kunita, Katsuhiko Sato, Yoshimi Tanaka, Yoshinori Takikawa, Hiroshi Orihara, and Toshiyuki Nakagaki: "Shear Banding in An F-actin Solution", *Physical Review Letters*, Vol. 109, 248303 (2012). (DOI:10.1103/PhysRevLett.109.248303).
  33. Kei-ichi Ueda, Seiji Takagi, and Toshiyuki Nakagaki : "Tactic direction determined by the interaction between oscillatory chemical waves and rheological deformation in an amoeba", *Physical Review E* 86, 011927 (2012). (doi: 10.1103/PhysRevE.86.011927)
  34. Takeshi Kano, Shota Suzuki, Wataru Watanabe, and Akio Ishiguro, "Ophiuroid robot that self-organizes periodic and non-periodic arm movements", *Bioinspiration & Biomimetics*, 7 (2012) (DOI:10.1088/1748-3182/7/3/034001)
  35. Takeshi Kano, Takahide Sato, Ryo Kobayashi, and Akio Ishiguro, "Local Reflexive Mechanisms Essential for Snakes' Scaffold-based Locomotion", *Bioinspiration & Biomimetics*, 7 (2012) (DOI:10.1088/1748-3182/7/4/046008)
  36. Takeshi Kano, Yuki Watanabe, and Akio Ishiguro, "Towards Realization of Multi-terrestrial Locomotion: Decentralized Control of Sheet-like Robot Based on Scaffold-exploitation Mechanism", *Bioinspiration & Biomimetics*, 7 (2012) (DOI:10.1088/1748-3182/7/4/046012)
  37. Dai Owaki, Takeshi Kano, Ko Nagasawa, Atsushi Tero, and Akio Ishiguro, "Simple Robot Suggests Physical Interlimb Communication Is Essential for Quadruped Walking", *Journal of The Royal Society Interface* (2012) (DOI:10.1098/rsif.2012.0669)
  38. 渡邊 航, 鈴木翔太, 加納剛史, 石黒章夫, 腕運動の自己組織的役割分担生成を可能とするクモヒトデ型ロボットの自律分散制御, *計測自動制御学会論文誌*, Vol.49, No.1, pp.48-53 (2013)
  39. Takuya Umedachi, Ryo Idei, Kentaro Ito, and Akio Ishiguro, "A Fluid-filled Soft Robot That Exhibits Spontaneous Switching among Versatile Spatio-temporal Oscillatory Patterns Inspired by True Slime Mold", *Artificial Life*, 19-1,
  40. Itsuki Kunita, Sho Sato, Tetsu Saigusa and Toshiyuki Nakagaki: "Ethological response to periodic stimulation in *Chara* and *Brepharisma*", *Natural Computing and Beyond, Proceedings in Information and Communications Technology (PICT)*, Vol. 6, Springer-Verlag, 3-13 (2013). DOI:10.1007/978-4-431-54394-7-1.
  41. Itsuki Kunita, Kazunori Yoshihara, Atsushi Tero, Kentaro Ito, Chiu Fan Lee, Mark D. Fricker and Toshiyuki Nakagaki: "Adaptive path-finding and transport network formation by the amoeba-like organism *Physarum*", *Natural Computing and Beyond, Proceedings in Information and Communications Technology (PICT)*, Vol. 6, Springer-Verlag, 14-29 (2013). DOI: 10.1007/978-4-431-54394-7-2.
  42. Toshiya Kazama, Koki Kuroiwa, Takuya Umedachi, Yuichi Komatsu, and Ryo Kobayashi, a, Takuya Umedachi, Yuichi Komatsu, and Ryo tion and

- Communications Technology (PICT), Vol. 6, Springer-Verlag, 14-29 (2013). DOI: 10.1007/978-4-431-54394-7-2.ce, Springer, Vol. 8064, pp. 390-392, 2013
43. Yukinori Nishigami, Masatoshi Ichikawa, Toshiya Kazama, Ryo Kobayashi, Teruo Shimmen, Kenichi Yoshikawa and, Seiji Sonobe, A swimming machine driven by the deformation of sheet-like body inspired by the olyclad flatworms4-7-2.ora et al (Eds.), Lecture Note
  44. Takuya Umedachi, Ryo Idei, Kentaro Ito, and Akio Ishiguro : True-slime-mould-inspired hydrostatically-coupled oscillator system exhibiting versatile behaviours, *Bioinspiration & Biomimetics*, Vol.8, 035001 (2013)
  45. Dai Owaki, Koichi Osuka, and Akio Ishiguro, “Stabilization mechanism underlying passive dynamic running”, *Advanced Robotics*, Vol.19, No.9 (2013)
  46. Takeshi Kano, Toshihiro Kawakatsu, and Akio Ishiguro, “Generating situation-dependent behavior: decentralized control of multi-functional intestine-like robot that can transport and mix contents”, *Journal of Robotics and Mechatronics* (2013)(in press)
  47. Takuya Umedachi, Vikas Vishesh and Barry Trimmer : Highly Deformable 3-D Printed Soft Robot Generating Inching and Crawling Locomotions with Variable Friction Legs, 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2013), Tokyo, Japan, Nov. 6 (12:00-12:15, Paper WeAT11.5), 2013
  48. Toshiya Kazama, Koki Kuroiwa, Takuya Umedachi, Yuichi Komatsu, Ryo Kobayashi : Locomotion Diversity in an Underwater Soft-Robot Inspired by the Polyclad Flatworm, 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2013), Tokyo, Japan, 18:12-18:18, Paper MoVT14.13 (Technical Program), Nov. 4, 2013
  49. Takeshi Kano, Hisashi Date, and Akio Ishiguro : Considering Snake Locomotion with “Continuum Legs”, *Proceedings of Dynamic walking 2013*, Pittsburgh, U.S.A. (2013)
  50. Dai Owaki and Akio Ishiguro : What is the key to postural stabilization on bipedal walking?, *Proceedings of Dynamic walking 2013*, Pittsburgh, U.S.A. (2013)
  51. Dai Owaki, Leona Morikawa, and Akio Ishiguro : Why do quadrupeds exhibit exclusively either trot or pace gaits?, *Proceedings of Dynamic walking 2013*, Pittsburgh, U.S.A. (2013)
  52. Takeshi Kano, Hisashi Date and Akio Ishiguro : Decentralized Control Scheme for a Snake-like Robot That Enables Omni-directional Locomotion, *Proceedings of International Workshop on Soft Robotics and Morphological Computation*, P-32, Ascona, Switzerland (2013)
  53. Dai Owaki and Akio Ishiguro : Nonlinearity in Ankle Elasticity Enhances Robustness on Bipedal Walking, *Proceedings of International Workshop on SoftRobotics and Morphological Computation*, P-9, Ascona, Switzerland (2013)
  54. Takeshi Kano, Ryo Kobayashi and Akio Ishiguro : Decentralized Control Scheme for Bodily Wave Generation in Earthworm Locomotion, *Proceedings of Traffic and Granular Flow '13*, p.107, Jülich, Germany (2013)
  55. Takeshi Kano and Akio Ishiguro : “Obstacles are Beneficial to Me!: Scaffold-based Locomotion of a Snake-like Robot Using Decentralized Control”, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3273-3278, Tokyo (2013)
  56. Dai Owaki, Koichi Osuka, and Akio Ishiguro : Stabilization Mechanism underlying Passive Dynamic Running”, *Advanced Robotics*, Vol. 27, No. 18, pp. 1399-1407, (2013) doi: 10.1080/01691864.2013.839087
  57. Ryo Fujiwara, Takeshi Kano, and Akio Ishiguro : *Advanced Robotics*,

- Self-swarming robots that exploit hydrodynamical interaction”, *Advanced robotics*, Vol. 28, No. 9, pp. 639-645 (2014) DOI:10.1080/01691864.2013.879365
58. Takeshi Kano, Yuki Watanabe, Fuyuhiko Satake, and Akio Ishiguro : “eDecentralized-controlled Multi-terrain Robot Inspired by Flatworm Locomotion”, *Advanced robotics*, Vol. 28, No. 7, pp. 523-531 (2014) DOI:10.1080/01691864.2013.878667
  59. Takeshi Kano, Ryo Kobayashi, and Akio Ishiguro : “Decentralized Control Scheme for Adaptive Earthworm Locomotion Using Continuum-Model-Based Analysis”, *Advanced robotics*, vol., 28, no. 3, pp. 197-202 (2014)
  60. M. Iwamoto, D. Ueyama and R. Kobayashi : “Motion U for Adhesive Locomotion in Gastropods”, *J. Theo. Biol.*, accepted
  61. Shigeru Kuroda, Itsuki Kunita, Yoshimi Tanaka, Akio Ishiguro, Ryo Kobayashi, and Toshiyuki Nakagaki : “Common mechanics of mode switching in locomotion of limbless and legged animals”, *Journal of Royal Society Interface*, accepted

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. T. Nakagaki, A. Tero, R. Kobayashi, I. Onishi and T. Miyaji : “Computational ability of cells based on dynamics and adaptability”, *New Generation Computing*, Ohmsha-Springer, 27(1) : 57-81 (2009)
2. R. Pfeifer, J. Bongard 著(細田 耕, 石黒章夫訳) : 「知能の原理 – 身体性に基づく構成論的アプローチ」, 共立出版, (2010)
3. 浅間一, 矢野雅文, 石黒章夫, 大須賀公一 編著 : 「移動知 – 適応行動生成のメカニズム – (シリーズ移動知第1巻)」, オーム社, (2010)
4. M.D. Fricker, L. Boddy, T. Nakagaki, D. Bebbler: “Adaptive biological networks” in [Adaptive Networks: Theory, Models and Applications] edited by T. Gross and H. Sayama, 51-70, Springer Verlag (2009)
5. 中垣俊之 : “単細胞生物研究に見る北海道の「開拓者精神」”, 月刊クオリティ姉妹誌うおんつ, Vol. 79, 1-20 (2009)
6. 中垣俊之 : “かしこい粘菌の話”, 朝日小学生新聞, 6/6より週一回計8回連載 (2009)
7. 中垣俊之 : “「薬学」から粘菌の「迷路解き」へ”, *ファルマシア*, Vol. 45, 547-552 (2009)
8. 中垣俊之 : “イグノーベル賞授賞式顛末記”, *Journal of English Teaching UNICORN JOURNAL*, NO. 69, 31-33 (2009)
9. 小林 亮 : 「フェーズフィールドモデル」, シリーズ 数理生物学要論 巻2 「空間」の数理生物学, 共立出版, 第10章を分担執筆 : 167-180 (2009)
10. 石黒章夫 : モジュラーロボットの自律分散制御 ～「三人寄れば文殊の知恵」的な知能はいかにして実現できるのか～, *機械の研究*, 養賢堂, 61-7(2009), 669-675
11. 石黒章夫, 清水正宏 : 自然で無理のない形態変形から生み出される適応的運動機能
12. 計測と制御, 48-9(2009), 705-710
13. 大須賀公一, 石黒章夫 : 受動的ロコモーションに埋め込まれた適応機能
14. 計測と制御, 48-9(2009), 711-717
15. 中垣俊之, 「粘菌–その驚くべき知性–」PHPサイエンスワールド新書 (2010-4) 1-198. PHP 研究所
16. 中垣俊之 : “粘菌の記憶と迷いのエソロジカルダイナミクス” 京都大学数理解析研究所講究録 NO.1704 第6回生物数学の理論とその応用 (2010-8) 165-171.
17. 小林 亮 : 「フェーズフィールド法のおもしろさ」, *計算工学*, 15(2) : 2287-2290 (2010)
18. 高木清二, 中垣俊之 : “真正粘菌による自己組織的な鉄道網設計”, *現代化学*, NO. 477, 48-51 (2010年12月)
19. R. Pfeifer and J. Bongard (細田 耕, 石黒章夫 訳), 「知能の原理 – 身体性に基づく構

- 成論的アプローチ」, 共立出版, (2010)
20. 小林亮、中垣俊之 “真正粘菌の運動と知性” [理論生物学(望月敦編著)], 共立出版 (2011)
  21. Toshiyuki Nakagaki : “Foraging behaviors and potential computational ability of problem-solving in an amoeba”, Proceedings in Information and Communications Technology (PICT2) Natural Computing, Proceedings of the 4th Int. Workshop on Natural Computing, Ed. by F. Pepper, H. Umeo, N. Matsui, T. Isokawa, Springer, 42-54 (2010)
  22. 中垣俊之: “単細胞生物粘菌の「賢さ」を探る”, 科研費 NEWS, 2010 年度 VOL.4, p.13 (2010)
  23. 中垣俊之: “単細胞(原始生命体)に学ぶ生命知のからくり”, 東洋学術研究, Vol. 50(1), 165-193 (2011)
  24. Kentaro Ito, Anders Johansson, Toshiyuki Nakagaki, Atsushi Tero : Convergence properties for the Physarum solver, arXiv:1101.5249v1[math.OC] 27 Jan (2011)
  25. 伊藤賢太郎、中垣俊之: “粘菌ネットワークの賢さ”, 生物物理, Vol. 51(4), 178-181 (2011)
  26. 中垣俊之、小林亮: “原生生物粘菌による組み合わせ最適化法—物理現象として見た行動知—”, 人工知能学会誌, Vol. 26, 482-493 (2012)
  27. Toshiyuki Nakagaki: “The interconnected network of tubes constructed by a planar biological network of plasmodial slime mold”, J. Phys. Soc. Jpn. 80 (2011) 074801
  28. 石黒章夫: “真正粘菌・クモヒトデの行動から「生き生きとした」ロボットの構築原理を探る”, 学術の動向, 2011 年 4 月号(2011)
  29. 石田秀輝, 下村政嗣 監修: “自然にまなぶ! ネイチャー・テクノロジー”にて粘菌型ロボットの研究が紹介される, 学研(2011)
  30. 中垣俊之 文、斉藤俊行 絵、 “かっこいい単細胞 粘菌”, 福音館書店 月刊「たくさんのふしぎ」第332号(2012-11)
  31. 中垣俊之: “餌に向かって動く粘菌”, 少年写真新聞 理科教育ニュース, NO. 866 (2012-Nov-18)
  32. 中垣俊之: “知性とは何か 人間と自然のこれからを粘菌に訊く”, 広告, 第53巻2号、通巻389号 一恋する芸術と科学一, 116-117、博報堂 (2012-Aug)
  33. 中垣俊之: “知性とは何か 人間と自然のこれからを粘菌に訊く”, 広告, 第53巻2号、通巻389号 一恋する芸術と科学一, 116-117、博報堂 (2012-Aug)
  34. 中垣俊之: “第一章 生命情報処理の現象数理学・粘菌の迷路解き-”, 現象数理学入門(三村昌泰編)、27-46、東京大学出版会、2013 年
  35. 石黒章夫: 行動生物学辞典(上田恵介他編集), 東京化学同人 (2013) (分担執筆)
  36. 中垣俊之: 行動生物学辞典(上田恵介他編集), 東京化学同人 (2013) (分担執筆)
  37. 岩本 真裕子、上山 大信、小林 亮 : “粘液を利用した腹足類這行運動メカニズム”, 数理解析研究所講究録、1853 : 210-216 (2013)

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

- ① 招待講演 (国内会議 138 件、国際会議 54 件)

2008 年度

1. R. Kobayashi : “A Mathematical Model of Amoeboid Locomotion”, Mathematical Understanding of Complex Systems arising in Biology and Medicine, Meiji University (2008-10)
2. T. Nakagaki : “Information processing in a living cell based on nonlinear biochemical dynamics ”, ISEM2008 Returns (Int. Sym. on Engineering Micro-/Nano-Materials Based on Self-Assembling and Self-Organization),

KAGAKU-MIRAI-KAN, Tokyo (2008-12)

3. T. Nakagaki : “Information processing based on biochemical reactions in an amoeba”, The 10th RIES-HU International Symposium on AYA , Hokkaido University (2008-12)
  4. R. Kobayashi : “A Mathematical Model of Amoeboid Locomotion”, International Conference for Nonlinear Science, Sapporo Winter School, Hokkaido University (2009-02-10)
  5. T. Nakagaki : “Cells anticipate periodic events”, American Physical Society March Meeting, Pittsburgh, USA (2009-03)
  6. T. Nakagaki : “Behavioral smartness based on adaptability in an amoeba-like organism of true slime mold”, Seminar in Centre de Recherches sur la Cognition Animale, Universite Paul Sabatier, Toulouse, France (2009-03)
- 
1. 小林 亮、手老 篤史、中垣 俊之 : 「真正粘菌変形体とその数理モデル」、イグ・ノーベル賞記念講演会、電気通信大学 (2008-10)
  2. 小林 亮 : 「アメーバ運動の数理モデル」、日本機械学会第21回計算力学講演会 CMD2008、琉球大学 (2008-11)
  3. 中垣 俊之 : 「イグノーベル賞受賞記念講演—中垣俊之准教授が語る粘菌の不思議—」、ビズラボ、札幌ビズカフェ (2008-11)
  4. 小林 亮 : 「アメーバ運動の数理モデル」、第 46 回日本生物物理学会年会、福岡国際会議場 (2008-12)
  5. 中垣 俊之 : 「単細胞生物の底力」、北大電子科学研究所新棟落成記念講演会、アスペンホテル、札幌 (2008-12)
  6. 中垣 俊之 : 「真正粘菌の不思議」、現象数理学:冬の学校「数理の目で世界を見る」、明治大学 (2009-01)
  7. 中垣 俊之 : 「あるアメーバの問題解決能力」、リズム現象研究会、お茶の水大学 (2009-01)
  8. 小林 亮 : 「アメーバ運動の数理モデル」、生命数理セミナー研究会、北海道虻田郡 (2009-01)
  9. 石黒章夫:「どうすれば大自由度を持つからだを巧みに制御できるのか —粘菌から学ぶ大自由度ロボットの自律分散制御方策—」、大阪電気通信大学メカトロニクス基礎研究施設主催特別講演会(第6回知能ロボットの最前線)、大阪電気通信大学 (2009-02)
  10. 中垣 俊之 : 「単細胞の底力」、九州大学フロンティアリサーチャー院生企画シンポジウム—ロマンチックサイエンス—、九州大学 (2009-03)
  11. 中垣 俊之 : 「アメーバの計算能力」、TOP Winter School 2009、札幌 (2009-03)
  12. 石黒章夫:「大自由度を持つからだをいかに巧みに制御するか —粘菌から学ぶ大自由度ロボットの自律分散制御方策—」、第6回計測自動制御学会生物制御システム調査研究会、早稲田大学, (2009-03)

2009 年度

1. T. Nakagaki, R. Kobayashi and A. Tero : “Biologistics learned from adaptable transport network of food locations in slime mold”, The 2nd Ladenburger Kolleg meeting on “From Bio-inspired Logistics to Logistics-Inspired Bio-Nano-Engineering” , Berlin, Germany (2009-04)
2. T. Nakagaki : “Behavioral smartness in slime mold”, Seminar at Institut für Experimentelle Physik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg, Germany (2009-04)
3. T. Nakagaki, T. Saigusa, A. Tero and Y. Kuramoto : “Cells anticipate periodic

- events ”, Seminar at Interdisciplinary Research Institute, Univ. Sciences et Technologies, Lille, France (2009-04)
4. T. Nakagaki : “Behavioral smartness of slime mould -evaluation and modelling-”, Seminar at University of Uppsala, Uppsala, Sweden (2009-05)
  5. R. Kobayashi : 「 A Mathematical Model of Amoeboid Locomotion 」、Reaction-Diffusion Systems: Modeling and Analysis、Universite de Paris-Sud 11, Orsay, France (2009-06)
  6. T. Nakagaki : “Negotiating multi-purpose optimization problem by means of the adaptive method inspired by a single celled organism Physarum”, International Workshop on Natural Computing 2009, Himeji, Japan (2009-09)
  7. T. Nakagaki : “Solving a multi-purpose optimization problem by amoeboid computing”, 8<sup>th</sup> International Conference on Unconventional Computation / Workshop on Novel Computing Substrates, Ponta Delgada, Portugal (2009-09)
  8. A. Tero, M. Yamaguchi, R. Kobayashi and T. Nakagaki : “ Negotiating multi-purpose optimization problem by means of the adaptive method inspired by a single celled organism Physarum ”, 4th International Workshop on Natural Computing, Himeji (2009-09)
  9. T. Nakagaki : “Smart behaviors of a living cell based on nonlinear dynamics”, 2009 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, Sapporo (2009-10)
  10. T. Nakagaki : “Ethological smartness and dynamics in true slime mold - A cooperative society of amoeba -”, Symposium on Microorganism and Sociality: Intricate Multi-level Interactions, Tsukuba (2009-11)
  11. T. Nakagaki in Microorganism and Sociality: Intricate Multi-level Interactions, Tsukuba (2009-11)le celled organism Physarum9-09)KAN,

1. 小林 亮 : 「計算するアメーバの不思議」、広島大学総合博物館第22回公開講演会、広島大学 (2009-04)
2. 中垣 俊之 : 「単細胞の情報処理」、第48回日本医用工学大会、東京 (2009-04)
3. 中垣 俊之 : 「単細胞の賢さを探る」、日本科学未来館 科学週間イベントセミナー、日本科学未来館 (2009-04)
4. 小林 亮 : 「計算するアメーバの不思議」、広島夕学講座、広島商工会議所 (2009-06)
5. 中垣 俊之 : 「アメーバの賢さとそれをもたらすダイナミクス」、龍谷大学数理情報学科特別講義、龍谷大学 (2009-06)
6. 中垣 俊之 : 「単細胞生物粘菌に学ぶ賢い計算法」、北海道大学大学祭理学際模擬講義、北海道大学 (2009-06)
7. 中垣 俊之 : 「単細胞の賢さを探る」、北海道大学薬学部東京同窓会総会、東京学士会館 (2009-07)
8. 中垣 俊之 : 「粘菌の行動にみる賢さとそのしくみ」、東京大学薬学部セミナー、東京大学 (2009-07)
9. 中垣 俊之 : 「アメーバ行動に見る賢さとそれをもたらすダイナミクス」、物性若手夏の学校のサブゼミ、志賀高原 (2009-08)
10. 中垣 俊之 : 「アメーバのエソロジー」、生物物理学会若手の会夏の学校、支笏湖ユースホテル (2009-08)
11. 中垣 俊之 : 「単細胞の底力」、広島大学数学科一般公開講座、広島大学 (2009-08)
12. 石黒 章夫、梅舘 拓也、武田 光一、中垣 俊之、小林 亮 : 「真性粘菌変形体から探る自律分散制御のからくりと大自由度ロボット制御への応用」、第19回日本数理生物学会、東京大学 (2009-09)

13. 手老 篤史、小林 亮、中垣 俊之：「真性粘菌に学ぶ最適ネットワーク」、第19回日本数理生物学会、東京大学 (2009-09)
14. 小林 亮：「Innovations in controlling hyper-redundant and flexible systems inspired by biological locomotion」、広島大学大学院理学研究科数理分子生命理学専攻設立10周年記念シンポジウム／明治大学広島大学グローバル COE「現象数理学の形成と発展」広島キックオフフォーラム、広島大学 (2009-09)
15. 中垣 俊之：「単細胞が迷路を解く！？」、日本学術会議北海道地区会議主催サイエンスカフェ、函館市地域交流まちづくりセンター (2009-09)
16. 中垣 俊之：「アメーバのエソロジー ―賢さとそれをもたらすダイナミクス―」、公立はこだて未来大にてセミナー、公立はこだて未来大 (2009-09)
17. 中垣俊之：「単細胞の賢さをはかる」、日本学術会議北海道地区会議主催(公立はこだて未来大共催)の科学夜話、函館、北海道 (2009-09)
18. 中垣俊之：「Ethology of slime mold in response to chemical stimulation」、第43回日本味と匂学会大会のシンポジウム、旭川、北海道 (2009-09)
19. 石黒章夫，“真正粘菌から探る自律分散制御のからくりと大自由度ロボット制御への応用”，日本数理生物学会，東京大学，2009年9月
20. 小林 亮：「フェーズフィールドモデルのおもしろさ」、日本機械学会第22回計算力学講演会、金沢大学 (2009-10)
21. 中垣 俊之：「ある基礎科学特別研究員のその後ーイグノーベル賞を受賞するまでー」、理化学研究所基礎科学特別研究員キャリアセミナー講演会、理化学研究所 (2009-10)
22. 中垣 俊之：「不思議生物粘菌の賢さを探る」、札幌市青少年科学館 先端科学技術講座、札幌市青少年科学館 (2009-10)
23. 中垣 俊之：「粘菌の記憶と迷いのエソロジカルダイナミクス」、京都大学数理解析研究所研究集会「生物数学の理論とその応用」、京都 (2009-11)
24. 小林 亮：「生物と数学とロボットと --- 脳なしな話 ---」、非線形数理レクチャーシリーズ，2009、東北大学 (2009-11)
25. 中垣 俊之：「粘菌の経路探索と多目的最適化」、オペレーションズリサーチ学会関西支部シンポジウム「OR によらない新しい解法の試み」、兵庫県立大学 (2009-11)
26. 石黒章夫，“真正粘菌から学ぶ動物の巧みな行動制御のからくり”，日本動物行動学会，筑波大学，2009年11月
27. 小林 亮：「血管網形成の数理モデル」、京都大学再生医科学研究所平成21年度学術講演会、京都大学 (2009-12)
28. 石黒章夫，“「生き生きとした動き」のからくりを探る ―「脳なし」から「脳」を考えるアプローチ―”，東北大学電気通信研究所ブレインウェア研究会，東北大学，2009年12月
29. 中垣俊之：「不思議なアメーバ生物粘菌に学ぶ賢い計算法 ～ネットワークの設計を例題として～」，人工知能学会 第77回人工知能基本問題研究会、北海道大学(2010-3)

#### 2010年度

1. Toshiyuki Nakagaki: “Ethology of plasmodial amoeba of slime mold in relation to the capacity of information processing in cell”, 2<sup>nd</sup> GCOE International Symposium of Animal Global Health. Special lecture. Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine. 2010-4-4.
2. Akio Ishiguro, onal Symposium of Animal Global Health. Special let-bodied Amoeboid Robot Inspired by True Slime Mold-”, JSPS 二国間(日本・スイス)交流事業セミナー(ソフトロボティクス: 次世代ロボットの形態機能の探求), 東京大学, (2010.06.22)
3. Takuya Umedachi, ナ Orchestrating Large Degrees of Freedom -A Case Study with a Soft-bodied Amoeboid Robot- CasUnconventional Computation, 1st International Workshop on Computing with Spatio-Temporal Dynamics

(2010.06.22)

4. Ryo Kobayashi : oputation, 1st International Workshop on Computing with Spatio-Temporal Dynamicsd by True Sl
  5. Ryo Kobayashi : oputation, 1st International Workshop on Computing with Spatio-Temporal Dynamicsd by True Slime Molgue and Telc (2010-08-31)
  6. Toshiyuki Nakagaki : “ Cell dynamics of smart behaviors in Physarum plasmodium”, Woods Hole Marine Biology Laboratory, Woods Hole, USA. 2010-09-29.
  7. Toshiyuki Nakagaki: Lecture in GCOE program Industrial Mathematics, “ Ethology of an amoeba -physiology and mathematical modeling-”, Meiji University, Tokyo, Japan (2010-10-25)
  8. Ryo Kobayashi : ty, Tokyo, Japan (2010mathematical modeling-matics, with Spatio-Temporal Dynamicsd by True Slime Molgue and Telc (2010-08-31)2008-12)(2011) 074801 ystems in Biology and Chemistry”, Kyoto (2010-12-03)
  9. Ryo Kobayashi : “ Toward Understanding the Locomotion of Animals ” , International Workshop on Far-From-Equilibrium Dynamics, Kyoto (2011-01)
- 
1. 中垣俊之:「アメーバのエソロジー」第5回化学生態学研究会、函館湯の川温泉プリンスホテル渚亭、(2010-6-11/12)
  2. 小林 亮、中垣 俊之、手老 篤史 : 「真正粘菌の知性 -- 細胞のエソロジカルダイナミクス --」、理研ASI 細胞システムコロキウム シリーズ I 「理論生物学」、和光市 (2010-06)
  3. 中垣俊之、小林亮 : 「真正粘菌の知性」理化学研究所細胞システムコロキウム「理論生物学」、理化学研究所大河内記念ホール、(2010-6-4)
  4. 小林 亮: 「生物と数学とロボットと」、京都算楽会第6回研究会、伊東市 (2010-6-5)
  5. 中垣俊之: 南北海道創才セミナー「単細胞の賢さを探る」、大沼国際セミナーハウス (2010-8-28)
  6. 小林 亮 : 「生物と数学とロボットと」、さいたま数理解析セミナー、大宮 (2010-9-18)
  7. 中垣俊之: 東洋哲学研究会講演会-現代化学の焦点／生命・脳・心-「単細胞(原始生命体)に学ぶ生命知のからくり」、函館ロワジュールホテル (2010-10-28)
  8. 中垣俊之: 原生動物学会若手の会ワークショップ、「粘菌のエソロジー」茨城大学(2010-11-5)
  9. 中垣俊之: 「ソフトマターのダイナミクスから見た粘菌の細胞行動」京都大学基礎物理学研究所研究会「非平衡揺らぎと集団挙動」、京都大学基礎物理学研究所、2010/11/20
  10. 中垣俊之: 道新函館政経文化懇話会、「人間と粘菌 知性の源流を探検する」函館ロワジュールホテル、2010/12/3
  11. 小林 亮 : 「計算するアメーバの不思議」、宇宙☆自然講座、浅口市ふれあい交流館サンパレア (2010-12-18)
  12. 中垣俊之: 「アメーバの賢さと情報処理」、日本医療情報学会関西支部／春の講演会、招待講演、キャンパスプラザ京都(2011-3-11)
  13. 中垣俊之: 「アメーバの記憶と迷い」、人工知能学会「データ指向構成マイニングとシミュレーション研究会」キックオフシンポジウム、招待講演、東京大学工学部2号館 (2011-2-28)
  14. 中垣俊之: 「細胞の知的行動と化学ダイナミクス」文部科学省科学研究費新学術領域「分子ナノシステムの創発科学」第2回公開シンポジウム招待講演、建築会館ホール、東京 (2011-2-5)
  15. 中垣俊之: 「アメーバの行動にみる賢さとそれをもたらすダイナミクス」、化学系学協会北海道支部2011年冬期研究発表会、特別講演、北海道大学学術交流会館 (2011-2-1)



16. 中垣俊之:「粘菌のエソロジーと非線形動力学」第20回非線形反応と協同現象研究会、鹿児島大学(2010-01-8,9)
17. 小林 亮:「計算するアメーバの不思議」、理学融合セミナー、広島大学 (2011.01.21)
18. 小林 亮:「生物と数学とロボットと」、産総研講演会「やわらかいロボット」第4回、つくば(2011-01-27)
19. 小林 亮:「生物と数学とロボットと」、理工学研究科学術講演会 No.12、埼玉大学(2011-02-04)

#### 2011 年度

1. T. Nakagaki : "Behavioral smartness and its simple dynamics in an giant amoeba of *Physarum polycephalum*", Minischool/Workshhop on Signals and Spatio-temporal patterns in simple bio-systems, University of Copenhagen, Niels Bohr Institute, Denmark (2011-08-25/27)
2. T. Nakagaki : "Behavioral smartness and its simple dynamics in a giant amoeba of *Physarum* plasmodium", Dynamic organization and motility of single cells, Max-Planck Institute for the Physics of Complex Systems, Dresden, Germany, (2011-08-30/09-01)
3. T. Nakagaki : "Problem solving by slime mold and its equation of physical motion", Two day workshop on Problem solving by slime mold, University of Uppsala, Sweden (2011-09-20)
4. R. Kobayashi: "Problem solving by slime mold and its equation of physical motion", Two day workshop on Problem solving by slime m
5. T. Nakagaki : "Ethological dynamics in *Physarum* plasmodium", The 4th European Science Foundation Conference on Functional Dynamics, Praha, Czech Republic (2011-09-21/24)
6. T. Nakagaki : " How does an amoeba tackle a maze?", Shanhai Lecture organized and hosted by Prof. Rolf Pfeifer (University of Zurich, Swiss), Future University Hakodate (2011-10-29)
7. T. Nakagaki : "Ethological dynamics of an amoeba in *Physarum* plasmodium", Seminar in Department of Physics, University of Lyon, France (2011-11-15)
8. R. Kobayashi : Ethological dynamics of an amoeba in *Physarum* p Symposium, Kyoto (2012-02-14)

1. 中垣俊之:科学技術週間セミナーin北海道2011、ホテル札幌ガーデンパレス「単細胞の底力」(2011-4-19)
2. 中垣俊之:第25回日本計算機統計学会、函館市亀田福祉センター「粘菌の行動知一原子生命システムの自律分散情報処理」(2011-5-07)
3. 中垣俊之:道南学びサポート講演会、函館まちづくりセンター「原生生物粘菌の賢さを探る」(2011-5-10)
4. 中垣俊之:第41回道南獣医師会定期総会特別講演、ホテルリソル函館「原生生物粘菌の賢さを探る」(2011-5-14)
5. 中垣俊之:自動車技術会中部支部年次総会特別講演会、名古屋国際会議場「粘菌その驚くべき知性」(2011-6-10)
6. 中垣俊之:室蘭工業大学蘭学セミナー、室蘭工業大学「粘菌 その驚くべき賢さを探る」(2011-6-14)

7. 中垣俊之:第19回東海中学高校サタデープログラム、東海中学高校「単細胞の底力」(2011-6-25)
8. 小林 亮:「単細胞の底力」、京都算楽会第7回研究会、熱海市 (2011-06)
9. 中垣俊之:第48回薬剤学懇談会研究討論会ー先端科学技術と薬剤学の節点を探るー、山形かみのやま温泉ホテル古窯 「粘菌のエソロジカルダイナミクス」(2011-7-7)
10. 中垣俊之:横浜国立大学環境情報研究院セミナー、横浜国立大学「巨大アメーバ粘菌の賢い動きーソフトマターの観点からー」(2011-7-19)
11. 小林 亮:「真正粘菌からロボットへ」、ワークショップ「生物ロコモーションと同期現象」、グリーンピア大沼 (2011-08)
12. 中垣俊之:札幌の教育を語る会 夏の研修会、「学問に遊びとユーモアを イグノーベル賞「粘菌で鉄道網設計」マヨネーズのような単細胞「粘菌」から見えること」、札幌東急イン (2011-08-20)
13. 小林 亮:「生物ロコモーションに学ぶ大自由度制御システムの新展開」、越境する数学、東京 (2011-09)
14. 中垣俊之:「科学者を夢見て」、札幌市立藻岩高校進路セミナー(2011-09-16)
15. 中垣俊之:精神保健北海道大会特別講演、「迷路を解く巨大アメーバ細胞:粘菌」、函館芸術ホール (2011-10-01)
16. 小林 亮:「生物と数学とロボットと」、明治大学先端数理科学研究科開設記念シンポジウム、明治大学 (2011-10)
17. 中垣俊之:H23年度電気情報関係学会北海道支部連合大会特別講演、「アメーバの問題解決ー適応能から情報処理へー」、(2011-10-22)
18. 小林 亮:「生物と数学とロボットと」、シンポジウム「創発と自己組織化ー魅惑の非線形」、九州大学 (2011-11)
19. 小林 亮:「真正粘菌からロボットへ」、東北地区特別講演会 ロボティクスと数理科学の素敵な出会い、東北大学 (2011-11)
20. 小林 亮:「粘菌の行動知に学ぶ」、自然の叡智に学ぶ技術セミナー 第2回セミナー「生物に学ぶソーシャルイノベーション ～ 個と集団の素敵な関係～」、大阪科学技術センター (2011-11)
21. 中垣俊之:第84回分子研フォーラム、「単細胞の賢さを探るー迷路を解く巨大アメーバ細胞:粘菌ー」、岡崎国立共同研究機構カンファレンスホール (2011-11-28)
22. 中垣俊之:札幌旭が丘高校 進路セミナー学問研究会、「単細胞の底力ー問題解決の方法ー」、札幌旭が丘高校 (2011-11-08)
23. 中垣俊之:北海道大学獣医学部 H23年度獣医学部学術交流基金群講演会ーユニークな発想と発見の裏にあるものー、「粘菌のエソロジー」、北海道大学獣医学部 (2011-11-01)
24. 石黒章夫:「動物が示す生き生きとした振る舞いのからくりを探る ～数理科学・生物学・ロボティクスの協働による構成論的理解～」, 第17回交通流のシミュレーションシンポジウム, 名古屋大学, 2011年12月9日
25. 小林 亮:「計算するアメーバの不思議」、創立130周年記念シンポジウム「自然を探り、社会を変える数理科学:現象数学の挑戦」、明治大学 (2011-12)

26. 梅舘拓也, "真正粘菌変形体から探るソフトロボットの制御論", 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 ウィンタースクール 数理モデルの産業・諸科学への活用 -数理モデルの夢 (2011-12-02)
27. 中垣俊之: 社会知能発生研究会、リッチモンドホテルプレミア、仙台 (2011-12-21)
28. 中垣俊之: 進化計算学会第5回進化計算シンポジウム特別招待講演、「粘菌式計算法」、モンタナリゾート岩内、宮城 (2011-12-17)
29. 中垣俊之: 戦略的創造研究推進事業個人研究さきがけ「知の創生と情報社会」研究領域 第1期生研究成果報告会特別講演、「天与の情報機械初号機: 粘菌」、日本科学未来館、東京 (2011-12-16)
30. 中垣俊之: 第8回南方ゼミナール特別講演、「粘菌からのぞく行動知の起源—学際的視点から—」、和歌山県田辺市 (2011-12-10)
31. 中垣俊之: 信州大学医学部皮膚科学教室同門会特別講演、「単細胞生物粘菌の賢さを探る」、松本ホテル花月 (2012-01-22)
32. 中垣俊之: 第49回北海道高等学校理科教育研究大会生物部会講演、「理科教材としての粘菌の可能性」、札幌市立大通高校 (2012-01-12)
33. 中垣俊之: 第49回北海道高等学校理科教育研究大会特別講演、「真正粘菌—たかが単細胞されど単細胞 変形体がつくるネットワークの妙技の秘密—」、札幌市立大通高校 (2012-01-12)
34. 中垣俊之: 精密工学会主催動画像処理実利用化ワークショップ2012 (DIA2012)、特別講演「粘菌の行動知—原始生命システムの自律分散情報処理—」、公立ほこだて未来大学 (2012-03-8/9)
35. 小林 亮: 「フェーズフィールド法とその応用」、日本解剖学会総会・全国学術集会、山梨大学 (2012-03)
36. 小林 亮: 「生物と数学とロボットと」、数電機特別連携講演会、首都大学東京 (2012-03)

#### 2012年度

1. R. Kobayashi: "Locomotion of Animals, Design of Robots and Mathematics", Special symposium on "Physics of non-linear, non-equilibrium, and non-conventional matter: From polymers to active soft matter", Kyoto University (2013-02-17)
2. R. Kobayashi: "Locomotion of Animals, Design of Robots and Mathematics", Gordon Research Conference, "Oscillations & Dynamic Instabilities in Chemical Systems", Colby College, Waterville, USA (2012-07-20)
3. Kentaro Ito, "Analysis of Spontaneous Pattern Switching of Fluid-Mass-Conserving Coupled Oscillatory Cylinder Model Inspired by True Slime Mold", Tongji University Symposium, (2013-3-26).
4. T. Nakagaki: "Computational ability of cells based on cell dynamics and adaptability", Vienna Biocenter PhD Symposium 2012 -BIOMIMETICS inspired by nature -, Vienna Biocenter, Austria(2012-11-8/9)
5. T. Nakagaki: "Ethology and rheology of an amoeboid cell", The 16th Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences, Okinawa Convention Center, Japan (2012-10-28/11-1), plenary talk
6. T. Nakagaki: "Exploring ethology of an amoeba by means of mathematical logic",

Nonlinear Partial Differential Equations: Theory and Applications to Complex Systems, An International Conference in honor of Hiroshi Matano, Institut des Hautes Etude Scientifiques, Gif-sur-Yvette, France (2012-6-25/28)

7. T. Nakagaki : "Adaptive design of multi-functional network in a primitive organism", 12th Experimental Chaos and Complexity Conference, University of Michigan, USA (2012-5-16/19)
8. T. Nakagaki : "Ethology and Dynamics of a Huge Amoeba", The International Symposium on Self-organization and Emergent Dynamics in Active Soft Matter, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Japan(2013-2-18/20)
9. Dai Owaki, The role of passive properties in producing adaptive motion in robotic and biological systems, 6<sup>th</sup> International Symposium on Adaptive Motion on Animals and Machines (AMAM2013), Darmstadt, Germany, 2013. 3. 14

1. 小林 亮 : 「計算するアメーバの不思議」、日本機械学会 第 22 回設計工学・システム部門講演会、広島大学 (2012-09-27)
2. 小林 亮 : 「粘菌の行動知に学ぶ」、第56回システム制御情報学会研究発表講演会、京都テルサ (2012-05-22)
3. 小林 亮 : 「適応的ネットワーク形成の数理モデル」、研究集会:ネットワーク構造と生命現象、JR 博多シティ (2012-11-3)
4. 小林 亮 : “Towards understanding the locomotion of animals by limbless crawling”, 第 50 回日本生物物理学会年会, 名古屋大学 (2012-09-12)
5. 中垣俊之:北海道教育大学理科プロジェクトシンポジウム「単細胞生物粘菌の不思議—身近な科学フロンティア—」、北海道教育大学サテライトオフィス (2012-12-15)
6. 中垣俊之:広島大学生物圏科学研究科院生会セミナー「粘菌の鉄道輸送網設計—生物の適応的形態形成—」、広島大学生物圏科学研究科 (2012-11-26)
7. 中垣俊之:帝京大学主催とちぎサイエンスらいおん発足記念公開シンポジウム「粘菌に学ぶネットワークと情報処理」、帝京大学宇都宮キャンパス (2012-11-23)
8. 中垣俊之:慶応大学医学部 先端研究施設共用促進事業講演会「粘菌による輸送ネットワークの適応的デザイン」、慶応大学医学部 (2012-10-22)
9. 中垣俊之:情報処理学会 数理モデル化と問題解決研究会 特別講演「アメーバの問題解決—行動知の数理モデリング—」、小樽市経済センターホール、(2012-09-19)
10. 中垣俊之:埼玉大学脳科学研究センター講演会「粘菌のエソロジーとダイナミクス」、埼玉大学、(2012-09-12)
11. 中垣俊之:第 15 回病院脳神経外科学会、文化講演「迷路を解く粘菌の不思議」、函館国際ホテル (2012-07-14)
12. 中垣俊之:第 30 回日本心理生理学会大会、特別講演「アメーバの心理生理学に向けて」、北海道大学 (2012-05-2/3)
13. 中垣俊之:群馬高専生物教育研究連携センター講演会「アメーバに学ぶ形づくりと情報処理—身近な科学フロンティア—」、群馬高専 (2012-12-17)
14. 中垣俊之:札幌啓成高校スーパーサイエンスハイスクール講演会「科学の奥深さと面白さ—粘菌研究の経験から—」、北海道札幌啓成高校 (2012-12-06)
15. 中垣俊之:(株)3D Matrix 社社内セミナー「単細胞の賢さを探る」、東京麹町(株)3D Matrix 社本社 (2012-11-22)
16. 中垣俊之:函館キャンパスコンソーシアム 函館学 2012「複雑系知能学への招待—函館みらい大学の研究現場から—」、函館市法華クラブホテル (2012-10-20)
17. 中垣俊之:大阪大学生命機能研究科セミナー「蠕動的這行運動のバイオメカニクス」、大阪大学生命機能研究科 (2012-10-18)
18. 中垣俊之:福井県立高志高校スーパーサイエンスハイスクール講演会「迷路を解く粘菌

- の不思議」、福井県立高志高校 (2012-09-24)
19. 中垣俊之:北海道渡島支庁小中学校校長会研修会講演「不思議生物粘菌の賢さを探る」、函館市渡島支庁(2012-09-03)
  20. 中垣俊之:公立ほこだて未来大学特別講演会 自己言及的鼎談「文学と科学のはざまで」、芥川賞作家円城塔氏／学長中島秀之／中垣俊之、公立ほこだて未来大学(2012-06-21)
  21. 中垣俊之:「原始生命体である粘菌の賢さを探る」、函館高齢者大学、函館市公民館(2012-05-30)

#### 2013 年度

1. T. Kazama : “. Kazamang robot flatworm”, LIVING MACHINES-An exhibition of biomimetic and biohybrid technologies and artworks, 1st August 2013, The Science Museum, London
  2. T.Nakagaki : "Behavioral diversity and decision-making of an amoeboid cell", The 7th International Conference on Engineering of Chemical Complexity, Conference Center Hohe Dune, Rostock-Warnemunde, Germany(2013-6-10/13)
  3. A.Ishiguro, “Taming Highly Deformable Body without Centralized Control Mechanism: Lessons from True Slime Mold”, International Workshop on Soft Robotics and Morphological Computation, Ascona, Switzerland, 17 July, 2013 (Keynote Lecture)
  4. R. Kobayashi : ming Highly Deformable Body without Centralized Control Mechanism: Lessons from True Slime Mold”, International Workshop on Soft Robotics and Morph13-11-27)
  5. R. Kobayashi : ming Highly Deformable Body without Centralized Control Mechanism: Lessons from True Slime Mold”, International Workshop on S
  6. Kentaro Ito : "Matheatical model for pressure driven locomotino of Physarum", Workshop on Ethology and Rheology of Physarum and its Related Topics II, (2014-2)
  7. Kentaro Ito : "": taro Ito : "Matheatical model for pressure driven locomotino of Physarum", Workshop on Ethology and Rheology of Physarum and its Related Topics II, Sapporo (2014-3)
  8. Sigeru Kuroda : athmmon mechanics of mode switching in locomotion of limbless and legged animals”, CREST International Symposium Locomotion of Animals, Robotics and Mathematics, Sapporo (2014-3)
  9. Takeshi Kano : athmmon mechanics of mode switching in locomotion of limbless an of Snakes”, CREST International Symposium Locomotion of Animals, Robotics and Mathematics, Sapporo (2014-3)
  10. Toshiya Kazama : thmmon mechanics of mode switching in locomotion of liCREST International Symposium Locomotion of Animals, Robotics and Mathematics, Sapporo (2014-3)
  11. Dai Owaki : ma : thmmon mechanics of mode switching inCREST International Symposium Locomotion of Animals, Robotics and Mathematics, Sapporo (2014-3)
- 
1. 小林 亮 : 「粘菌の行動知に学ぶ」、第7回 細菌学若手コロッセウム、東広島 (2013-08-07)
  2. 小林 亮 : 「計算するアメーバの不思議」、第 52 回日本 SF 大会こいこん、広島 (2013-07-21)
  3. 秋山正和 : 和モルフォゲンの凸性に着目した細胞分裂のモデル”ルフ日本植物学会第 77 回大会(2013.9.13-15).
  4. 中垣俊之:資源・素材関係学協会合同秋期大会 市民参加型特別講演会 「アメーバの賢さを解き明かすレオロジー」北海道大学(2013-9-4)
  5. 中垣俊之:北大創成シンポジウム--未来を開く生態予測シミュレーション--、「粘菌運動アルゴリ

- ズム」北海道大学 (2013-8-1)
6. 中垣俊之: 分子ロボティクス研究会「粘菌のレオロジーとエソロジー」、北海道大学 (2013-6-29)
  7. T. Nakagaki: "Ethology and rheology of an amoeba ?Behavioral diversity and decision-making in Physarum-", 東北大学原子分子材料科学高等研究機構主催のセミナー, 東北大学 (2013-6-22)
  8. 中垣俊之: 第13回学習院大学生命科学シンポジウム「粘菌のエソロジーとダイナミクス」、学習院大学 (2013-5-25)
  9. 石黒章夫, “生き物はどのようにして大自由度を制御しているのか? ~粘菌に学ぶ集団統制と協調の知恵~”, 第11回積水化学 自然に学ぶものづくりフォーラム, イイノホール&カンファレンスセンター, 2013年10月17日
  10. 黒田茂: “這行におけるモード間遷移”, 津田一郎教授還暦記念研究集会「複雑系数理から動的の脳観へ」北海道大学 (2013-9-17)
  11. 風間俊哉: 「ヒラムシの運動に着想を得たソフトロボットの構築」, 平成25年度第15回数理分子生命理学セミナー, 広島大学, (2013-10)
  12. 小林 亮: 「粘菌の行動知に学ぶ」、ASMO+NEXCO 研究会、広島大学 (2013-10)
  13. 岩本 真裕子\*, 上山 大信、小林 亮: 「数理モデルで理解する腹足類の這行運動」、統計数理研究所共同利用研究集会 動物行動モデリング: 個体・集団・バイオメカニクス、統計数理研究所 (2013-12)
  14. 小林 亮: 「粘菌の行動知に学ぶ」、「自然に学ぶ」講演会、豊田中央研究所 (2013-12)
  15. 風間俊哉: 「軟体動物の大自由度運動解析」, 統計数理研究所研究集会「動物行動モデリング: 個体・集団・バイオメカニクス」, 統計数理研究所 (2013-12)
  16. 中垣俊之: 第5回ニコニコ学会βシンポジウム「生命の境界ー2nd session いきものマテリアルー」, 東京六本木ニコフアーレ (2013-12-21)
  17. 中垣俊之: 第50回慶応大学理工学部「人間教育講座」, 「アメーバとヒトのあいだー生命知の起源とイグノーベル賞ー」, 慶応大日吉キャンパス (2013-12-19)
  18. 中垣俊之: 平成25年度機械学会熱工学カンファレンス特別講演会, 「化学機械としてみた粘菌の行動知」弘前大学 (2013-10-19)
  19. 小林 亮\*, 中垣 俊之、石黒 章夫: 「生物と数学とロボットと -- CREST の5年間を振り返って --」, FIRST 合原プロジェクトーCREST 数学領域合同シンポジウム、東京 (2014-01)
  20. 小林 亮\*, 中垣 俊之、石黒 章夫: 「生物と数学とロボットと -- CREST の5年間を振り返って --」, 生命科学に現れる新しい数理モデルの数学的基盤の構築に向けて、博多 (2014-02)
  21. 小林 亮\*, 中垣 俊之、石黒 章夫: 「生物と数学とロボットと -- CREST の5年間を振り返って --」, 数学連携ワークショップ ~生命科学、材料科学における数理~, 学習院大学 (2014-03)

② 口頭発表 (国内会議 60 件、国際会議 51 件)

2008 年度

1. Takuya Umedachi, Taichi Kitamura, Koichi Takeda, Toshiyuki Nakagaki, Ryo Kobayashi, and Akio Ishiguro, A Modular Robot Driven by Protoplasmic Streaming, The 9th International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems (DARS2008), Tsukuba (2008-11)

1. 坂井善行, 石田怜, 大脇大, 手老篤史, 石黒章夫, 周波数と位相の調整が可能なマルチリズムオシレータモデル - 一次元ホッピングロボットの跳躍運動学習への適用 -, 第 245 回計測自動制御学会東北支部研究集会, 山形大学 (2008-10)
2. 坂井善行, 石田怜, 大脇大, 手老篤史, 石黒章夫, 周波数と位相の調整が可能なマルチリズムオシレータモデルの提案, 計測自動制御学会 SI 部門講演会, 岐阜 (2008-12)
3. 石田怜, 坂井善行, 大脇大, 手老篤史, 石黒章夫, 運動安定化と運動探索をシームレスに統合可能なマルチリズムオシレータモデルの提案, 第 21 回自律分散システム・シンポジウム, 鳥取 (2009-1)
4. 武田光一, 北村太一, 梅舘拓也, 中垣俊之, 小林亮, 石黒章夫, 真正粘菌をモチーフとした大自由度ソフトロボットの実機開発, 第 21 回自律分散システム・シンポジウム, 鳥取 (2009-1)

#### 2009 年度

1. K. Takeda, T. Umedachi, T. Nakagaki, R. Kobayashi, and A. Ishiguro: Taming Many Degrees of Freedom: Fully Decentralized Control of a Soft-bodied Robot Inspired by True Slime Mold, 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) Workshop/Tutorial Proceedings, CD-ROM (2009)
2. M. Shimizu and A. Ishiguro: An Amoeboid Modular Robot That Exhibits Real-time Adaptive Reconfiguration, Proc. of 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 1496-1501 (2009)
3. W. Watanabe, T. Sato and A. Ishiguro, A Fully Decentralized Control of a Serpentine Robot Based on the Discrepancy between Body, Brain and Environment, Proc. of 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2421-2426 (2009)
4. D. Owaki, K. Osuka and A. Ishiguro, Understanding the Common Principle underlying Passive Dynamic Walking and Running, Proc. of 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 3208-3213 (2009)

1. 石黒章夫, 石田 怜, 大脇 大, 伊藤賢太郎, 手老篤史: 運動生成と運動学習をシームレスに統合可能なマルチリズムオシレータ, 第 48 回日本生体医工学会大会 (2009)
2. 梅舘拓也, 武田光一, 中垣俊之, 小林 亮, 石黒章夫: 真正粘菌変形体から探る大自由度ソフトロボットの自律分散制御, 第 15 回創発システム・シンポジウム (2009)
3. 佐藤貴英, 渡邊航, 糸澤祐太, 石黒章夫: 脳・身体・環境間の齟齬情報を活用したヘビ型ロボットの自律分散制御, 第 24 回生体・生理工学シンポジウム (2009)
4. 武田光一, 梅舘拓也, 中垣俊之, 小林亮, 石黒章夫: 原形質量保存則を活用したアメーバ様ソフトロボットの実機開発, 第 22 回自律分散システム・シンポジウム資料 (2010-01)
5. 手老篤史, 長澤昂, 秋山正和, 大脇大, 伊藤賢太郎, 加納剛史, 小林亮, 石黒章夫: グローバルエントレインメントを生起させる脳・身体間連関様式の再考 ~四脚ロボットを用いた CPG 制御の基本論理の理解~, 第 22 回自律分散システム・シンポジウム資料 (2010-01)
6. 加納剛史, 佐藤貴英, 小林亮, 石黒章夫: 位相制御と筋緊張制御の有機的整合を可能とする自律分散制御則 ~ヘビ型ロボットを用いた事例研究~, 第 22 回自律分散システム・シンポジウム資料 (2010-01)

#### 2010 年度

1. Takahide Sato, Wataru Watanabe, and Akio Ishiguro, "An Adaptive Decentralized Control of a Serpentine Robot Based on the Discrepancy between Body, Brain and Environment", 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Anchorage (2010.05.04)

2. Takuya Umedachi, Koichi Takeda, Toshiyuki Nakagaki, Ryo Kobayashi, and Akio Ishiguro, "Taming Large Degrees of Freedom: A Case Study with an Amoeboid Robot", 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Anchorage (2010.05.06)
  3. Dai Owaki, Shota Kubo, Shin'ichi Yamaguchi, Atsushi Tero, Moritz Maus, Christophe Maufroy, Andre Seyfarth, and Akio Ishiguro, "A Two-dimensional Passive Dynamic Runner with Upper Body", The 13th International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technology for Mobile Robots, Nagoya (2010.09.01)
  4. Takeshi Kano, Takahide Sato, Ryo Kobayashi, and Akio Ishiguro, "Toward Well-balanced Coupling between Phasic and Tonic Control -A Case Study with a Serpentine Robot-", The 13th International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines, Nagoya (2010.09.01)
  5. Takeshi Kano, Koh Nagasawa, Dai Owaki, Atsushi Tero, and Akio Ishiguro, "A CPG-based Decentralized Control of a Quadruped Robot Based on Discrepancy Function", The 13th International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines, Nagoya (2010.09.01)
  6. Takeshi Kano, Takahide Sato, Ryo Kobayashi, and Akio Ishiguro, "A Decentralized Control of Serpentine Locomotion That Enables Well-balanced Coupling between Phasic and Tonic Control", 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Taipei (2010.10)
  7. Takeshi Kano, Koh Nagasawa, Dai Owaki, Atsushi Tero, and Akio Ishiguro, "CPG-based Decentralized Control of a Quadruped Robot Inspired by True Slime Mold", 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Taipei (2010.10)
  8. Takuya Umedachi, Koichi Takeda, Toshiyuki Nakagaki, Ryo Kobayashi, and Akio Ishiguro, "A Soft-bodied Fluid-driven Amoeboid Robot Inspired by Plasmodium of True Slime Mold", 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Taipei (2010.10)
  9. Koichi Osuka, Akio Ishiguro, Xin-Zhi Zheng, Yasuhiro Sugimoto, Dai Owaki, "Dual Structure of Mobiligence -Implicit Control and Explicit Control-", 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Taipei (2010.10)
- 
1. 伊藤賢太郎, "変動環境下における真正粘菌ネットワークの適応戦略", N.L.P.M.サマーセミナー2010, 神戸, 2010年8月.
  2. 加納剛史, 佐藤貴英, 小林 亮, 石黒章夫, 位相制御と筋緊張制御を考慮したヘビの這行様ロコモーションの数理モデル, 第20回日本数理生物学会, 札幌 (2010.9)

#### 2011年度

1. Takeshi Kano, Decentralized Control of Scaffold-assisted Serpentine Locomotion That Exploits Body Softness, 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Taipei, Taiwan, 2011.5.12
2. Takuya Umedachi, Simulation of a Soft-bodied Fluid-driven Amoeboid Robot That Exploits Thixotropic Flow, 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Taipei, Taiwan, 2011.5.12
3. Y. Tanaka : Minisymposium "Dynamics of Protoplasm in Amoeboid Cells: "Mechanics of peristaltic locomotion driven by contraction waves and friction control", SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems , Snowbird, Saltlake City , USA (2011-05-25)



4. Dai Owaki, A CPG-based Decentralized Control by Exploiting Spontaneous Transition between Oscillatory and Excitatory Regimes -A Case Study with a Real Quadruped Robot-, Dynamic Walking 2011, Jena, Germany, 2011.07.21
  5. Kentaro Ito, "Risk management by Physarum", Two Day Workshop: Problem Solving by Slime Moulds, Uppsala(Sweden), 2011年9月
  6. Takuya Umedachi, A Fluid-filled Soft Robot That Exhibits Spontaneous Switching among Versatile Spatiotemporal Oscillatory Patterns Inspired by True Slime Mold, The 2<sup>nd</sup> International Conference on Morphological Computation, Venice, Italy, 2011.09.14
  7. Wataru Watanabe, Moving Right Arm in the Right Place: Ophiuroid-inspired Omnidirectional Robot Driven by Coupled Dynamical Systems, 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, San Francisco, USA, 2011.9.27
  8. Takeshi Kano, Decentralized Control of Multi-articular Snake-like Robot for Efficient Locomotion, 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, San Francisco, USA, 2011.9.27
  9. Takahide Sato, A Snake-like Robot Driven by a Decentralized Control That Enables Both Phasic and Tonic Control, 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, San Francisco, USA, 2011.9.27
  10. Mayuko Iwamoto, "A Mathematical Research for the Effectiveness of Mucus in Crawling Locomotion of Gastropod", 明治大学大学院先端数理科学研究科開設シンポジウム, Tokyo, 2011-10-04
  11. Wataru Watanabe, Towards Understanding of Versatility of Animal Behavior: A Mathematical Model for Ophiuroid Omnidirectional Locomotion, The 5th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2011), Awaji, Japan, 2011.10.11
  12. Mayuko Iwamoto, "Crawling Locomotion: The Advantage of Mucus", The 3rd Taiwan-Japan Joint Workshop for Young Scholars in Applied Mathematics, Taipei, 2012-02-27
  13. Yasushi Sunada, "A preliminary study for the snake vision simulator", The 3rd Taiwan-Japan Joint Workshop for Young Scholars in Applied Mathematics, Taipei, 2012-02-27
- 
1. 砂田靖志, ヘビの視界を仮想現実世界で表現する試みについて, NLPM サマーセミナー, 知多, 8月5日~8月8日(2011)
  2. 渡辺 裕喜, 大自由度二次元シート型ロボットの自律分散制御, 第29回日本ロボット学会学術講演会, 芝浦工業大学, 9月7日~9月9日(2011)
  3. 長澤 昂, 身体の力学的特性を活用した脚間協調に基づく四脚ロボットの適応的ロコモーション生成, SICE 東北支部 第269回研究集会, 東北学院大学工学部, 12月12日(2011)
  4. 加納 剛史, 非構造環境下での這行が可能なヘビ型ロボットの自律分散制御, SI2011, 京都大学 吉田キャンパス, 12月23日~12月25日(2011)
  5. 渡邊 航, 腕運動の自発的役割分担生成を可能とするクモヒトデ型ロボットの自律分散制御, SI2011, 京都大学 吉田キャンパス, 12月23日~12月25日(2011)
  6. 出井 遼, 多様な時空間振動パターンを創発する真正粘菌様ロボットの実機実現, 第24回自律分散シンポジウム, 神戸ファッションマート・コンベンションルーム, 1月27日~1月28日(2012)
  7. 糸澤 裕太, 脚間協調と脚内協調の有機的整合が可能な四脚ロコモーションの自律分散制御則, 第24回自律分散システムシンポジウム, 神戸ファッションマート・コンベンションルーム, 1月27日~1月28日(2012)

8. 渡辺 裕喜, 非構造環境下での推進が可能な二次元シート型ロボットの自律分散制御, 第 24 回自律分散システムシンポジウム, 神戸ファッションマート・コンベンションルーム, 1 月 27 日~1 月 28 日(2012)

2012 年度

1. Kentaro Ito, "Coupled oscillatory cylinder model for Physarum oscillation", Two-day workshop on Ethology and Rheology of Physarum and Its Related Topics, Hakodate, 2013-7
2. R. Kobayashi: "Intuitive navigation of snake-like robot with autonomous decentralized control", Living Machines 2012, Barcellona, Spain (2012-07)
3. Takeshi Kano, SheetBot: Two-dimensional Sheet-like Robot As a Tool for Constructing Universal Decentralized Control Systems, ICRA2012, St. Paul, Minesota, USA, 2012. 5. 17
4. Dai Owaki, Minimalist CPG Model for Inter- and Intra-limb Coordination in Bipedal Locomotion, IAS-12, Jeju, Korea, 2012. 6. 29
5. Takuya Umedachi, A True-Slime-Molde-Inspired Fluid-Filled Robot Exhibiting Versatile Behavior, Living Machine 2012, 2012. 7. 12
6. Takeshi Kano, SheetBot: A Magic Carpet That Enables Scaffold-based Locomotion, 7. IROS2012, Vilamora, Portugal, 2012. 10. 8
8. Takahide Sato, Snake-like Robot Driven by Decentralized Control Scheme for Scaffold-based Locomotion, IROS2012, Vilamora, Portugal, 2012. 10. 8
9. Dai Owaki, Listen to Body's Message: Quadruped Robot That Fully Exploits Physical Interaction between Legs, IROS2012, Vilamora, Portugal, 2012. 10. 9
10. Dai Owaki, Adaptive Bipedal Walking through Sensory-motor Coordination Yielded from Soft Deformable Feet, IROS2012, Vilamora, Portugal, 2012. 10. 9
11. Takeshi Kano, Reconsidering Inter- and Intra-limb Coordination Mechanisms in Quadruped Locomotion, IROS2012, Vilamora, Portugal, 2012. 10. 10
12. Shigeru Kuroda:Switching of possible modes in crawling locomotion,The international symposium on self-organization and Emergent Dynamics in Active Soft Matter, Kyoto (2013-1-18\_23)
13. Noriko Oikawa:An analogy between pseudopod expansion in plasmodium and viscous fingering phenomena,The international symposium on self-organization and Emergent Dynamics in Active Soft Matter, Kyoto (2013-1-18\_23)
14. Kunita Itsuki:Shear banding in F-actin solution,The international symposium on self-organization and Emergent Dynamics in Active Soft Matter, Kyoto (2013-1-18\_23)
15. Kazunori Yoshihara: Comparison of transport networks constructed by a mass of amoeba and by human society,The international symposium on self-organization and Emergent Dynamics in Active Soft Matter, Kyoto (2013-1-18\_23)

1. 伊藤賢太郎 : 「振動子に駆動されるシリンダー結合系に現れるパターン遷移」, 日本物理学会秋季大会, 2013 年 9 月.
2. 岩本 真裕子 : 「腹足類の這行運動メカニズムにおける粘液の効果」, 第 22 回日本数理生物学会大会, 岡山大学 (2012-09-12)
3. 岩本真裕子 : "腹足類の這行運動における粘液効果", N.L.P.M.サマーセミナー, 岬の宿高砂(三重県鳥羽市), 2012 年 8 月 11 日.
4. 岩本真裕子 : 「粘液を利用した腹足類這行運動メカニズム」, RIMS 研究集会 第 9 回「生物数学の理論とその応用」, 京都大学, 2012 年 11 月 16 日.
5. 風間 俊哉 : 「ヒラムシに着想を得た流体センシングと運動との相互フィードバック機構を持

- つ自律遊泳型ソフトロボットの構築」、第25回 自律分散システム・シンポジウム、東北大学 (2013-01-26)
6. 砂田 靖志 :「視界情報を用いた直感的ヘビロボット操縦システムの構築」、第25回 自律分散システム・シンポジウム、東北大学 (2013-01-25)
  7. 出井遼, 質的に異なる振る舞いを状況依存的に発現可能なアメーバ様ロボットの自律分散制御, 第 30 回日本ロボット学会学術講演会, 札幌コンベンションセンター, 2012. 9. 17
  8. 鈴木翔太, 身体構造に応じた振る舞いを自己組織的に発現するクモヒトデの腕内協調メカニズム, 第 30 回日本ロボット学会学術講演会, 札幌コンベンションセンター, 2012. 9. 17
  9. 渡辺裕喜, 「這う」「泳ぐ」「飛ぶ」が可能な Multi-terrestrial Robot の実現を目指して-環境を活用して推進する自律分散型シートロボットの実機開発-, 第 30 回日本ロボット学会学術講演会, 札幌コンベンションセンター, 2012. 9. 17
  10. 福田裕樹, ミニマリストな CPG モデルから探る二脚ロコモーションに内在する脚間協調と脚内協調の発現機序, 第 30 回日本ロボット学会学術講演会, 札幌コンベンションセンター, 2012. 9. 19
  11. 森川玲於奈, 身体の力学的特性に応じた歩容生成を可能とする CPG モデル〜トロッツ歩容とペース歩容の排他的発現の実験的検証〜, 第 30 回日本ロボット学会学術講演会, 札幌コンベンションセンター, 2012. 9. 19
  12. 鈴木翔太, クモヒトデのロコモーションから学ぶ大自由度系の自律分散制御 ~上位神経系の介在を考慮した腕内協調のモデル化~, SI2012, 福岡国際会議場, 2012. 12. 18
  13. 出井遼, 真正粘菌変形体に着想を得た多様な振る舞いを示す静水力学的骨格ロボットの実機実現, SI2012, 福岡国際会議場, 2012. 12. 18
  14. 加納剛史, ヘビの「歩容」遷移メカニズム, 第 25 回自律分散シンポジウム, 東北大学, 2013. 1. 25
  15. 佐藤貴英, 不整地走破が可能な大自由度ヘビ型ロボットの実機実現, 第 25 回自律分散シンポジウム, 東北大学, 2013. 1. 25
  16. 伊藤賢太郎, 真正粘菌に着想を得た流体質量保存結合振動子系における自発的パターン間遷移の解析, 第 25 回自律分散シンポジウム, 東北大学, 2013. 1. 25
  17. 出井遼, 仮足を出し入れして環境に適応する超軟性アメーバ様ロボット, 第 25 回自律分散シンポジウム, 東北大学, 2013. 1. 26
  18. 黒田茂, 自由移動中の真性粘菌変形体におけるアロメトリー: 速さ・形・リズム, 第 25 回自律分散システム・シンポジウム 東北大学 (2013-1-25/26)
  19. 及川典子, 細胞間シグナリングの同期時刻に対する拡散の影響, 第 25 回自律分散システム・シンポジウム 東北大学 (2013-1-25/26)
  20. 國田樹, 中垣俊之, 環境揺らぎによる粘菌変形体の行動選択の変調, 第 25 回自律分散システム・シンポジウム 東北大学 (2013-1-25/26)

#### 2013 年度

1. R. Kobayashi : “A design principle of the decentralized control based on the discrepancy function”, EASIAM 2013, Bandung, Indonesia (2013-06-19)
2. R. Kobayashi : “A design principle of the decentralized control and its applications”, ICNAAM 2013, Rhodes, Greece (2013-09-27)
3. T. Kazama, 3, Rhodes, Greece (2013-09-27)ntrol and its applicationsancy functioneba and by human society,The international symposium on self-organization and Emergent Dynamics in Active Soft - CIAM 2013), Bandung, 18-23 June, 2013
4. M. Akiyama : “On cell-cleavage patterns and the convexity of diffusive factors”, EASIAM 2013, Bandung, Indonesia (2013-06)
5. T. Kazama, 13, Bandung, Indonesia (2013-06) of diffusive factorsionsancy

- functioneaba and by human society, The international symposium pulsive motion inspired by Polyclad flatworms". The 25th SICE Symposium on Decentralized Autonomous Systems, Sendai, 25-26 Jan., 2013
6. Takeshi Kano and Akio Ishiguro, "Obstacles are Beneficial to Me!: Scaffold-based Locomotion of a Snake-like Robot Using Decentralized Control", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Tokyo (2013.11.5)
  7. T. Kazama\*, K. Kuroiwa, T. Umedachi, Y. Komatsu and R. Kobayashi : caffold-based Locomty in an underwater soft-robot inspired by the polyclad flatworm", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2013 (IROS 2013), Tokyo (2013-11)
  8. M. Iwamoto\*, D. Ueyama and R. Kobayashi : matsu and R. Kobayashi : caffold-based Locomt gastropods", Japanese-Hungarian Conference on Applied Mathematics and Nonlinear Dynamics, Budapest Hungary, Budapest, Hungary (2013-12)
  9. M. Iwamoto\*, D. Ueyama and R. Kobayashi : matsu and R. Kobayashi : caffold-based Locomt gastropods", Japanese-Hungarian, The 5th Taiwan-Japan Joint Workshop for Young Scholars in Applied Mathematics, Hsinchu, Taiwan (2014-02)
1. 小林 亮, "およげ! ヒラムシくん", 京都算学会第9回研究会, 小豆島 (2013-06-02)
  2. 風間俊哉, "ヒラムシの遊泳におけるはばたき運動動態解析と推進メカニズム", 日本動物学会第84回岡山大会2013, 岡山, 26-28 Sept. 2013
  3. 風間俊哉, "大変形シート構造物遊泳推進における身体・流体間相互作用機構理解に向けたソフトロボティクスアプローチ"変形第31回日本ロボット学会学術講演会, 東京, 4-6 Sept., 2013
  4. 岩本真裕子, "数理モデルを用いた腹足類這行運動メカニズムの解明", 日本応用数理学会2013年度年会, アクロス福岡, 2013年9月11日.
  5. 岩本真裕子, "腹足類の這行運動モデル", 第6回広島-明治-龍谷合同合宿, 休暇村大久野島, 2013年8月26日
  6. 伊藤賢太郎, "粘菌の厚み振動とその振る舞い", N.L.P.M.サマーセミナー2013, 2013年8月.
  7. 伊藤賢太郎, "効率的な原形質流動を生み出す粘菌ネットワークモデル", 第23回日本数理生物学会年会, 2013年9月.
  8. 森川玲於奈: "脚間の力学的相互作用を活用した CPG 制御に基づく中速-高速間の四脚步容遷移の実現", 第11回 ECSRA 研究会, 大阪大学, 2013.7.27.
  9. 加納剛史, 大須賀公一, 小林亮, 青沼仁志, 石川将人, 杉本靖博, 大脇大, 石黒章夫, 交友関係の自己組織化過程の数理モデル, 交通流のシミュレーションシンポジウム, pp. 89-92, 2013.12.17
  10. 松坂 義哉、佐藤 英毅、加納 剛史、坂本 一寛、青沼 仁志、石黒 章夫, 局所麻酔実験から探るクモヒトデの歩行制御の神経機構, 第45回東北地方生理学談話会, 2013.10.5
  11. 森川 玲於奈, 大脇 大, 石黒 章夫, 自発的歩容遷移を可能とする四脚ロボットのCPG制御, 第26回自律分散シンポジウム, 1C2-1 pp. 133-136, 2014.1.23
  12. 加納剛史, 大須賀公一, 小林亮, 青沼仁志, 石川将人, 杉本靖博, 大脇大, 石黒章夫, 「個性」を持つ粒子集団が創り出す動的秩序～人間社会における交友関係を探り上げた事例研究～, 第26回自律分散シンポジウム, 2B2-3, pp.243-248, 2014.1.24
  13. 佐竹冬彦, 加納剛史, 伊達 央, 井上康介, 石黒章夫, 狭窄空間におけるヘビのロコモーションに内在する自律分散制御則の解明, 第26回自律分散シンポジウム, 2A1-2, pp.171-176, 2014.1.24

14. 佐藤英毅, 加納剛史, 青沼仁志, 松坂義哉, 石黒章夫, クモヒトデの腕間協調メカニズムの数理モデル, 第26回自律分散シンポジウム, pp.177-182, 2014.1.24
15. 福田 裕樹, 大脇 大, 石黒 章夫, 足底感覚情報を活用した二脚ロボットのCPG制御, 2A3-1, pp. 205-208, 2014.1.24
16. 中村憲, 大脇大, 加納剛史, 石黒章夫, 6 脚歩行における脚間協調メカニズムのミニマリストモデルを探る, 第 26 回自律分散シンポジウム 2A3-2, pp.209-212, 2014.1.24
17. 風間 俊哉\*, 小林 亮, 飯間 信 : 「ヒラムシに見る柔構造と渦構造の相互作用による効率的な遊泳メカニズム」、研究集会「生物流体力学における流れ構造の解析と役割」、京都 (2013-11)
18. 畑中 直樹\*, 伊藤 賢太郎, 小林 亮 : 「真正粘菌変形体の伸展パターンを模した包括的数理モデル」、2013 年度応用数学合同研究集会、広島大学 (2013-12)
19. 渡邊 龍信\*, 風間 俊哉, 岡 有恵, 山田 恭史, 飛龍 志津子, 伊藤 賢太郎, 小林 亮 : 「コウモリの飛行経路決定数理モデル」、2013 年度応用数学合同研究集会、龍谷大学 (2013-12)
20. 江寄 駿人\*, 中田 聡, 鈴木 省吾, 小林 亮, 伊藤 賢太郎, 原 雄介 : 「圧縮下における複数の自励振動ゲルの同調現象」、日本化学会第 94 春季年会、名古屋大学 (2014-03)

③ ポスター発表 (国内会議 99 件、国際会議 34 件)

#### 2008 年度

1. 梅館拓也, 北村太一, 武田光一, 中垣俊之, 小林亮, 石黒章夫, 原形質量保存則を活用した大自由度アメーバロボットの自律分散制御, リズム現象の研究会, お茶の水女子大学 (2009-1)

#### 2009 年度

1. 田中 雅宏, 風間 俊哉, 小林 亮 : 「ヘビの運動の数理モデル」、第19回日本数理生物学会、東京大学 (2009-09)
2. 奥野 拓也, 風間 俊哉, 小林 亮 : 「Amoeba proteus の運動の数理モデルからのアプローチ」、第19回日本数理生物学会、東京大学 (2009-09)
3. 秋山 正和, 手老 篤史, 小林 亮 : 「卵割の数理モデル」、広島大学大学院理学研究科数理分子生命理学専攻設立10周年記念シンポジウム/明治大学広島大学グローバル COE「現象数学の形成と発展」広島キックオフフォーラム、広島大学 (2009-09)
4. 渡邊 航, 佐藤貴英, 石黒章夫: 脳・身体・環境間の齟齬情報に基づくヘビ型ロボットの自律分散制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (2009)
5. 佐藤貴英, 渡邊 航, 石黒章夫: 脳・身体・環境間の齟齬を活用した自律分散制御スキームの実験的検証 -ヘビ型ロボット実機を用いた事例研究-, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (2009)
6. 石田 怜, 大脇 大, 手老篤史, 伊藤賢太郎, 石黒章夫: 多重リズム性を活用した運動安定化と運動探索機能が共存可能なオシレータモデルの提案, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (2009)
7. 武田光一, 北村太一, 梅館拓也, 中垣俊之, 小林 亮, 石黒章夫: 真正粘菌をモチーフとした大自由度ソフトロボットの実験的検証, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (2009)
8. 武田光一, 北村太一, 梅館拓也, 中垣俊之, 小林 亮, 石黒章夫: アメーバ様ロコモーションから探る大自由度システムの自律分散制御方策, 第 15 回創発システム・シンポジウム (2009)

## 2010 年度

1. 加納剛史, 佐藤貴英, 小林 亮, 石黒章夫, 位相制御と筋緊張制御に着目した制御系と機構系の連関様式 ～ヘビ型ロボットを用いた事例研究～, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 旭川 (2010.6)
2. 佐藤貴英, 加納剛史, 石黒章夫, 局所的な齟齬情報に基づくヘビ型ロボットの適応的自律分散制御方策, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 旭川 (2010.6)
3. 武田光一, 梅舘拓也, 中垣俊之, 小林 亮, 石黒章夫, 原形質量保存則を活用した流体駆動型アメーバ様ソフトロボット, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 旭川 (2010.6)
4. 長澤 昂, 加納剛史, 大脇 大, 石黒章夫, グローバルエントレインメントを生起させる CPG と身体の連関様式的设计方策 ～四脚ロボットを用いた事例研究～, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 旭川 (2010.6)
5. 糸澤祐太, Skarka Martin, 佐藤貴英, 加納剛史, 石黒章夫, 位相制御と筋緊張制御の有機的整合が可能な脚歩行ロボットの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 旭川 (2010.6)
6. 塚辺有哉, 加納剛史, 石黒章夫, 位相制御と筋緊張制御の有機的整合を可能とする自律分散制御 ～小腸の蠕動運動モデルを用いた事例研究～, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 旭川 (2010.6)
7. 山口伸一, 久保翔達, 大脇 大, 杉本靖博, 大須賀公一, 石黒章夫, 受動走行のポアンカレマップに内在する陰的制御則と整合する陽的制御則の設計, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 旭川 (2010.6)
8. 塚辺有哉, 加納剛史, 川勝年洋, 石黒章夫, 小腸蠕動運動の自律分散制御機構の数理モデル, 第 20 回日本数理生物学会, 札幌 (2010.9)
9. 渡邊 航, 鈴木翔太, 加納剛史, 石黒章夫, クモヒトデにおける腕運動の自発的役割分担生成の数理モデル, 第 20 回日本数理生物学会, 札幌 (2010.9)
10. 八重樫和之, 加納剛史, 小林 亮, 石黒章夫, 自律分散制御に基づくミズの一次元這行運動の数理モデル, 第 20 回日本数理生物学会, 札幌 (2010.9)
11. 梅舘拓也, 秋山正和, 手老篤史, 石黒章夫, チクソトロピーを活用したアメーバ様運動のモデリング, 第 20 回日本数理生物学会, 札幌 (2010.9)
12. 久原 克, 風間 俊哉, 伊藤 賢太郎, 小林 亮 : 「ナメクジの運動の解析」、第20回 日本数理生物学会、札幌 (2010-09)
13. 岩本 真裕子, 風間 俊哉, 伊藤 賢太郎, 小林 亮 : 「非対称進行波を利用した這行生物の数理モデルの構築」、第20回 日本数理生物学会、札幌 (2010-09)
14. 伊藤賢太郎, 中垣俊之, 「変動環境下における真正粘菌ネットワークの適応戦略」、第 20 回数理生物学会年会, 札幌 (2010-09)

## 2011 年度

1. Akio Ishiguro, CPG-based Adaptive Control of Bipedal Locomotion by Switching between Oscillatory and Excitatory Regimes, Dynamic Walking 2011, Jena, Germany, 2011.07.21
2. Akio Ishiguro, Adaptive Inter-limb Coordination via Spontaneous Switching between Oscillatory and Excitatory Regimes, The 2<sup>nd</sup> International Conference on Morphological Computation, Venice, Italy, 2011.09.13
3. Kazuyuki Yaegashi, Decentralized Control of an Earthworm-like Robot That Fully Exploits Mechanical Interaction, The 5th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2011), Awaji, Japan, 2011.10.12
4. Takeshi Kano, Efficient Undulating Locomotion Driven by a Decentralized Control That Fully Exploits Multi-articular Muscles, The 5th International Symposium on

- Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2011), Awaji, Japan, 2011.10.12
5. Dai Owaki, A CPG-based Control of Bipedal Locomotion by Exploiting Deformable Feet, The 5th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2011), Awaji, Japan, 2011.10.12
  6. Takuya Umedachi, Ryo Idei, and Akio Ishiguro, "A Fluid-filled Deformable Robot That Exhibits Spontaneous Switching among Versatile Spatio-temporal Oscillatory Patterns Inspired by True Slime Mold", International Symposium on Adaptive Motion in Animals and Machines (AMAM 2011), Oct. 12, 2011
  7. Toshiya Kazama, "A Mathematical Approach to Explain in vitro Amoeba Locomotion", Far-Fromm-Equilibrium Dynamics 2011, Kyoto, January 4-8, 2011.
  8. Toshiya Kazama, "A mathematical model for the mode transition of locomotion in Amoeba proteus", The 8th European Conference on Mathematical and Theoretical Biology, Krakow, June 28-July 2, 2011.
  9. Yasushi Sunada, "A developmental study for the of naked vision simulator", 明治大学大学院先端数理科学研究科開設シンポジウム, Tokyo, 2011-10-04
  10. A. Tero, T. Nakagaki and R. Kobayashi : "Modeling of the Adaptive Network of True Slime Mold", ECMTB 2011, Krakow, Poland (2011-06 ~ 2011-07)
  11. M. Akiyama, A. Tero and R. Kobayashi : "A Mathematical Model of Cleavage ", ECMTB 2011, Krakow, Poland (2011-06 ~ 2011-07)
  12. A. Tero, T. Nakagaki and R. Kobayashi : "Common theory for path genesis of adaptive network", 2nd International conference on Morphological Computation, Venice, Italy (2011-09)

1. 加納 剛史, 高効率推進を可能とする多関節ヘビ型ロボットの自律分散制御則, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2011), 岡山コンベンションセンター, 5月26日~5月28日
2. 大脇 大, 足底腱膜を有する足部の可変形性を活用した二脚歩行ロボットの CPG 制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2011), 岡山コンベンションセンター, 5月26日~5月28日
3. 渡邊 航, 振動性・興奮性の時空間的励起に基づくクモヒトデ型ロボットの自律分散制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2011), 岡山コンベンションセンター, 5月26日~5月28日
4. 佐藤 貴英, 位相と筋緊張の自己組織化的な調整が可能なヘビ型ロボット, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2011), 岡山コンベンションセンター, 5月26日~5月28日
5. 久保 翔達, 柔軟な足部の表在感覚情報を活用した振動性・興奮性の 自律的遷移に基づく適応的動歩行制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2011), 岡山コンベンションセンター, 5月26日~5月28日
6. 長澤 昂, 振動性・興奮性の自発的遷移に基づく適応的四脚歩行制御の実験的検証, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2011), 岡山コンベンションセンター, 5月26日~5月28日
7. 八重樫 和之, 力学的相互作用を活用したミズ型ロボットの自律分散制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2011), 岡山コンベンションセンター, 5月26日~5月28日
8. 糸澤 裕太, 位相制御と筋緊張制御の有機的整合が可能な自律分散制御則の実験的検証—四脚歩行ロボットを用いた事例研究—, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2011), 岡山コンベンションセンター, 5月26日~5月28日
9. 渡辺 裕喜, 力学的相互作用を活用したヒレ型ロボットの自律分散制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2011), 岡山コンベンションセンター, 5月26日~

5月28日

10. 鈴木 翔太, 全方向移動を可能とするクモヒトデ型ロボットの自律分散制御則の実験的検証, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2011), 岡山コンベンションセンター, 5月26日~5月28日
11. 出井 遼, 粘菌振動子をモチーフにした流体駆動型ロボットが示す多様な時空間振動パターン, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2011), 岡山コンベンションセンター, 5月26日~5月28日
12. 梅舘 拓也, 粘菌振動子から着想を得た流体連結型モジュラーロボットが示す多様な時空間振動パターン, 第17回創発システムシンポジウム, 米原 彦根ビューホテル, 9月3日~9月5日
13. 八重樫 和之, 連続体モデルに基づくミズの這行運動に内在する自律分散制御則の解明, 第17回創発システムシンポジウム, 米原 彦根ビューホテル, 9月3日~9月5日
14. 加納 剛史, ヘビの不整地走破メカニズム, 第21回日本数理生物学会, 明治大学駿河台キャンパス, 9月13日~9月15日
15. 八重樫 和之, ミズの這行波の自己組織的生成メカニズム, 第21回日本数理生物学会, 明治大学駿河台キャンパス, 9月13日~9月15日
16. 鈴木 翔太, クモヒトデのロコモーションにおける腕運動の協調メカニズム, 第21回日本数理生物学会, 明治大学駿河台キャンパス, 9月13日~9月15日
17. 出井 遼, 真正粘菌変形体が示す多様な時空間パターンの発現機序, 第21回日本数理生物学会, 明治大学駿河台キャンパス, 9月13日~9月15日
18. 伊藤賢太郎, 手老篤史, 高木清二, 中垣俊之, 小林亮, 「真正粘菌変形体によるネットワーク形成」, 第二回領域シンポジウム JST「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」研究領域 CREST 研究報告会, 東京, 2011年9月.
19. 伊藤賢太郎, 岩本真裕子, 小林亮, "Ladder model for abalone locomotion", 明治大学先端数理科学研究科設立記念シンポジウム, 東京, 2011年9月.
20. 渡邊 航, クモヒトデのロコモーションに内在する腕運動の自己組織的機能分化メカニズム, 第9回 ECSRA 研究会, 仙台, 11月7日~11月8日
21. 佐藤 貴英, 位相制御と筋緊張制御の有機的連関を可能とするヘビ型ロボットの自律分散制御則, 第9回 ECSRA 研究会, 仙台, 11月7日~11月8日
22. 久保 翔達, 足部の変形から生み出される表在感覚情報を活用した適応的二脚動歩行制御, 第9回 ECSRA 研究会, 仙台, 11月7日~11月8日
23. 長澤 昂, 身体の力学的特性を活用した脚間協調に基づく四脚ロボットの適応的ロコモーション生成, 第9回 ECSRA 研究会, 仙台, 11月7日~11月8日
24. 八重樫 和之, 力学的な相互作用を活用したミズの自律分散制御, 第9回 ECSRA 研究会, 仙台, 11月7日~11月8日
25. 糸澤 裕太, 脚式ロコモーションにおける脚内協調を実現する自律分散制御則に関する研究, 第9回 ECSRA 研究会, 仙台, 11月7日~11月8日
26. 渡辺 裕喜, 大自由度二次元シート型ロボットの自律分散制御, 第9回 ECSRA 研究会, 仙台, 11月7日~11月8日
27. 鈴木 翔太, クモヒトデのロコモーションにおける腕運動の協調メカニズム, 第9回 ECSRA 研究会, 仙台, 11月7日~11月8日
28. 出井 遼, 真正粘菌変形体が示す多様な時空間パターンの発現機序, 第9回 ECSRA 研究会, 仙台, 11月7日~11月8日
29. 梅舘拓也, 出井遼, 中垣俊之, 小林亮, 石黒章夫, "真正粘菌変形体から着想を得た自律分散制御方策", 第2回領域シンポジウム「越境する数学」-CREST 研究報告会-, p. 40, 2011.
30. 梅舘拓也, 出井遼, 石黒章夫, "粘菌振動子から着想を得た流体連結型モジュラーロボットが示す多様な時空間振動パターン", 第17回創発システム・シンポジウム「創発夏の学校2011」,



pp. 127-130, 2011.

31. 出井 遼, 梅舘拓也, 石黒章夫, "粘菌振動子をモチーフにした流体駆動型ロボットが示す多様な時空間振動パターン", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011 (ROBOMECH2011), 2011
32. 風間俊哉, "An experimental and mathematical approach to the locomotion of polyclad flatworms", 日本数理生物学会年会, 東京 (2011-09-14)
33. 岩本真裕子, "腹足類の這行運動における粘液効果の数理的研究", 日本数理生物学会年会, 東京 (2011-09-14)

#### 2012年度

1. Mayuko Iwamoto : "Crawling Locomotion; the Advantage of Mucus", Gordon Research Conferences "Oscillations & Dynamic Instabilities in Chemical Systems", Colby College, 2012.7.16-17
2. Dai Owaki, Soft Deformable Feet Yield Sensory-motor Coordination for Adaptive Bipedal Walking, Dynamic Walking 2012, Pensacola, Florida, USA, 2012. 5. 22
3. Dai Owaki, Gait Transition of Quadruped Robot without interlimb neural connections, Dynamic Walking 2012, Pensacola, Florida, USA, 2012. 5. 23
4. Akio Ishiguro, Decentralized Control Scheme That Enables Scaffold-Based Peristaltic Locomotion, LivingMachine 2012, Barcelona, Spain, 2012. 7. 10
5. Takahide Sato, A Soft-Bodied Snake-Like Robot That Can Move on Unstructured Terrain, LivingMachine 2012, Barcelona, Spain, 2012. 7. 10
6. Yasushi Sunada, Intuitive Navigation of Snake-Like Robot with Autonomous Decentralized Control, LivingMachine 2012, Barcelona, Spain, 2012. 7. 11
7. Takeshi Kano, Autonomous Decentralized Control Mechanism in Resilient Ophiuroid Locomotion, LivingMachine 2012, Barcelona, Spain, 2012. 7. 11
8. Takeshi Kano, From Walk to Trot to Bound: Quadruped Gait Transition Induced by Simple Local Force Feedback Mechanism, AMAM2013, Darmstadt, Germany, 2013. 3. 11
9. Takeshi Kano, Development of sheet-like robot for multi-terrestrial locomotion, AMAM2013, Darmstadt, Germany, 2013. 3. 11
10. Takeshi Kano, Toward realization of resilient locomotion: Lessons from the locomotion of arm-amputated ophiuroids, AMAM2013, Darmstadt, Germany, 2013. 3. 11
11. Takuya Umedachi, True-slime-mold-inspired hydrostatic-skeletal amoeboid robot driven by fully decentralized control, AMAM2013, Darmstadt, Germany, 2013. 3. 11
12. Akio Ishiguro, Toward unified understanding of inter-limb coordination mechanism underlying multi-legged locomotion, AMAM2013, Darmstadt, Germany, 2013. 3. 11

1. 岩本真裕子 : "The Advantage of Mucus for Crawling Locomotion in Gastropod", 広島大学大学院理学研究科数理分子生命理学専攻第4回公開シンポジウム「数理生命科学の新展開—階層間で干渉しあう形・動き・機能—」, 広島大学, 2012.9.6.
2. 岩本真裕子 : "腹足類の這行運動メカニズムにおける粘液の摩擦制御効果", 2012年度日本応用数理学会年会, 稚内全日空ホテル, 2012.8.30.
3. 伊藤賢太郎 : "内部流体を介して相互作用するモジュール結合系における自発的振動パターン間遷移", 広島大学大学院理学研究科 数理分子生命理学専攻第4回公開シンポジウム, 2012-9-6.
4. 伊藤賢太郎 : "粘菌の振動パターン間遷移を説明するためのシリンダー結合モデル", 第

- 22 回日本数理生物学会年会, 2012-9-10.
5. 砂田 靖志 : 「視界共有に着目した直感的ヘビロボット操縦システムの構築」、第 22 回日本数理生物学会大会、岡山大学 (2012-09-10)
  6. 小松 雄一 : 「ヒラムシ這行メカニズムの数理解析」、第 22 回日本数理生物学会大会、岡山大学 (2012-09-10)
  7. 出井遼, 真正粘菌変形体に着想を得た多様な振る舞いを示す大自由度モジュラーロボット, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2012), アクトシティ浜松, 2012. 5. 29
  8. 石黒章夫, 柔軟な身体から生みだされる表在感覚情報を活用したミミズ型ロボットの自律分散制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2012), アクトシティ浜松, 2012. 5. 29
  9. 加納剛史, 非構造環境下での這行が可能な自律分散型ヘビロボット ～数理モデリング～, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2012), アクトシティ浜松, 2012. 5. 29
  10. 平井明礼, 非構造環境下での這行が可能な自律分散型ヘビロボット – 実機開発 –, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2012), アクトシティ浜松, 2012. 5. 29
  11. 渡辺裕喜, 環境を活用して推進する自律分散型二次元シートロボット, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2012), アクトシティ浜松, 2012. 5. 29
  12. 鈴木翔太, クモヒトデに学ぶ大自由度ソフトロボットの自律分散制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2012), アクトシティ浜松, 2012. 5. 29
  13. 佐藤貴英, 意地でも自律分散制御にこだわってヘビ型ロボットの制御則を考える 変分原理と反応拡散方程式に基づいた制御則設計, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2012), アクトシティ浜松, 2012. 5. 29
  14. 福田裕樹, 足部の表在感覚情報を CPG 制御に活用した適応的二脚歩行の実験的検証, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2012), アクトシティ浜松, 2012. 5. 29
  15. 森川玲於奈, 脚間の力学的相互作用を活用した CPG 制御に基づく四脚歩容遷移の実験的検証, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2012), アクトシティ浜松, 2012. 5. 29
  16. 大脇大, 脚間協調と脚内協調の有機的整合が可能な CPG に基づく四脚ロコモーション制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2012), アクトシティ浜松, 2012. 5. 29
  17. 出井遼, 質的に異なる振る舞いを状況依存的に発現するアメーバ様ロボット, 第 10 回 ECSRA 研究会, 東京大学, 2012. 8. 6
  18. 鈴木翔太, 身体構造に応じた振る舞いを自己組織的に発現するクモヒトデの腕内協調メカニズム, 第 10 回 ECSRA 研究会, 東京大学, 2012. 8. 6
  19. 渡辺裕喜, 環境を活用して推進する自律分散型シートロボット, 第 10 回 ECSRA 研究会, 東京大学, 2012. 8. 6
  20. 森川玲於奈, 身体の力学的特性に応じた歩容生成を可能とする CPG モデル～四脚歩容遷移の実験的検証～, 第 10 回 ECSRA 研究会, 東京大学, 2012. 8. 6

#### 2013年度

1. T. Kazama, 験的検証～, 第容生成を可能とする, 第 H riven by the deformation of sheet-like body inspired by Polyclad flatworm”, The international conference on biomimetics and neurotechnology (Living machines 2013), London, 29 July - 2 Aug., 2013
2. T. Umedachi, Caterpillar-like soft-bodied robot exploiting large-deformation

- continuum behavior, 2013 International Workshop on soft robotics, Centro Stefano Franscini (CSF), Monte Veritlyclscona, Switzerland, July 14-19 2013
3. Takeshi Kano, Hisashi Date, and Akio Ishiguro : Considering Snake Locomotion with “Continuum Legs”, Dynamic walking 2013, Pittsburgh, U.S.A. (2013.6.13)
  4. Dai Owaki and Akio Ishiguro : What is the key to postural stabilization on bipedal walking?, Dynamic walking 2013, Pittsburgh, U.S.A. (2013.6.11)
  5. Dai Owaki, Leona Morikawa, and Akio Ishiguro : Why do quadrupeds exhibit exclusively either trot or pace gaits?, Dynamic walking 2013, Pittsburgh, U.S.A. (2013.6.12)
  6. Takeshi Kano, Hisashi Date and Akio Ishiguro : Decentralized Control Scheme for a Snake-like Robot That Enables Omni-directional Locomotion, International Workshop on Soft Robotics and Morphological Computation, Ascona, Switzerland (2013.7.17)
  7. Dai Owaki and Akio Ishiguro : Nonlinearity in Ankle Elasticity Enhances Robustness on Bipedal Walking, International Workshop on SoftRobotics and Morphological Computation, Ascona, Switzerland (2013.7.17)
  8. Takeshi Kano, Ryo Kobayashi and Akio Ishiguro : Decentralized Control Scheme for Bodily Wave Generation in Earthworm Locomotion, Traffic and Granular Flow ‘13, Jülich, Germany (2013.9.25)
  9. M. Iwamoto\*, D. Ueyama and R. Kobayashi : ave Generation in Earthworm Locomotion, Traffic and Granular Flow ‘13,Iwamoto\*, D. Ueyama and R. Kobayashi : ave Generation in Earthworm Locomotion, Traffi
  10. Takeshi Kano, Koichi Osuka, Toshihiro Kawakatsu, Akio Ishiguro, A Simple Model for Self-organization of Heterogeneous Elements Inspired by Friendship Formation, The 3<sup>rd</sup> International Workshop on Spatiotemporal Pattern Formation in Biological and Active Matters, p. 10, 2014.3.2
- 
1. 風間俊哉, “身体を波打たせて遊泳する生物の推進メカニズムにおける流体力学的効果の数理的検討”, 第 23 回日本数理生物学会大会, 浜松, 11-13 Sept., 2013.
  2. 加納剛史, 石黒章夫: “不整地走破を目指した自律分散型大自由度ヘビロボットの開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2013), つくば, 2013.5.24.
  3. 加納剛史, 佐竹冬彦, 石黒章夫: “ヒラムシに着想を得たマルチテレストリアルロボットの開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2013), つくば, 2013.5.24.
  4. 佐竹冬彦, 加納剛史, 石黒章夫: “ヘビのコンセルティエーナロコモーションに内在する自律分散制御則の解明”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2013), つくば, 2013.5.24.
  5. 佐藤英毅, 加納剛史, 青沼仁志, 石黒章夫: “身体構造に応じた振る舞いが可能なクモヒトデに内在する自律分散制御則の解明”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2013), つくば, 2013.5.24.
  6. 森川玲於奈, 大脇大, 石黒章夫: “脚間の力学的相互作用を活用した CPG 制御に基づく筋駆動四脚ロボット”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2013), つくば, 2013.5.24.
  7. 中村憲, 大脇大, 石黒章夫: “脚間の力学的相互作用を活用した 6 脚ロボットの CPG 制御”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2013), つくば, 2013.5.24.
  8. 佐藤英毅, 加納剛史, 青沼仁志, 石黒章夫: “身体構造に応じた振る舞いが可能なクモヒトデに内在する自律分散制御則の解明”, 第 11 回 ECSRA 研究会, 大阪大学, 2013.7.28.
  9. 中村憲, 大脇大, 石黒章夫: “脚間の力学的相互作用を活用した 6 脚ロボットの CPG 制御”, 第 11 回 ECSRA 研究会, 大阪大学, 2013.7.28.

10. 佐藤英毅, 加納剛史, 青沼仁志, 石黒章夫: “身体構造に応じた振る舞いが可能なクモヒトデに内在する自律分散制御則の解明”, 第 19 回創発システムシンポジウム, 大阪アカデミア, 2013.8.31.
11. 中村憲, 大脇大, 石黒章夫: “脚間の力学的相互作用を活用した 6 脚ロボットの CPG 制御”, 第 19 回創発システムシンポジウム, 大阪アカデミア, 2013.8.31.
12. 森川玲於奈, 大脇大, 石黒章夫: “四脚動物の歩容生成メカニズム”, 第 23 回日本数理生物学会大会, 静岡大学(浜松), 2013.9.11.
13. 加納剛史, 大須賀公一, 小林亮, 青沼仁志, 石川将人, 杉本靖博, 大脇大, 石黒章夫: “人間社会の生成崩壊ダイナミクスの数理モデル”, 第 23 回日本数理生物学会大会, 静岡大学(浜松), 2013.9.11.
14. 佐藤英毅, 加納剛史, 坂本一寛, 松坂義哉, 青沼仁志, 石黒章夫: “腕切断実験から探るクモヒトデの腕間協調メカニズム”, 第 23 回日本数理生物学会大会, 静岡大学(浜松), 2013.9.11.
15. 堀切舜哉, 梅館拓也, 小林亮, 石黒章夫: “大変形を伴うアメーバ様ロコモーションの数理モデル”, 第 23 回日本数理生物学会大会, 静岡大学(浜松), 2013.9.11.
16. 中村憲, 遠藤栄進, 大脇大, 石黒章夫: “4脚動物と6脚動物の脚間協調メカニズムは共通か?”, 第 23 回日本数理生物学会大会, 静岡大学(浜松), 2013.9.11.
17. 佐竹冬彦, 加納剛史, 伊達 央, 井上康介, 石黒章夫: “狭窄空間におけるヘビのロコモーションの数理モデル”, 第 23 回日本数理生物学会大会, 静岡大学(浜松), 2013.9.11.
18. 風間 俊哉\*, 小林 亮: 「ヒラムシのやわらかくしなやかな逃避行動について」, 日本動物行動学会 第32回大会, 広島大学 (2013-11)
19. 渡邊 龍信\*, 風間 俊哉, 岡 有恵, 山田 恭史, 飛龍 志津子, 伊藤 賢太郎, 小林 亮: 「コウモリの超音波による空間センシング情報に基づく飛行経路決定数理モデル」, 日本動物行動学会 第32回大会, 広島大学 (2013-11)
20. 畑中 直樹\*, 伊藤 賢太郎, 小林 亮: 「真正粘菌変形体の伸展パターンを模した包括的数理モデル」, 日本動物行動学会 第32回大会, 広島大学 (2013-11)
21. 伊藤賢太郎:「粘菌の生み出す効率的なネットワーク」, 第二回ネイチャー・インダストリー・アワード (2013-11)
22. 加納剛史, 大須賀公一, 川勝年洋, 石黒章夫, 交友関係の形成過程に着想を得た自己組織化の数理モデル, 第 57 回数理社会学会大会, p. 76, 2014.3.7
23. 山田 恭史\*, 岡 有恵, 立岩 真一, 渡邊 龍信, 風間 俊哉, 伊藤 賢太郎, 太田 哲男, 飛龍 志津子, 力丸 裕, 小林 亮, 渡辺 好章: 「コウモリの生物ソナーを模擬した空間スキャニングシステムの検討 -自律センシングシステムを用いた実環境下での障害物検知能の検証-」, 日本音響学会 2014 年春期研究発表会, 東京 (2014-03)

#### (4)知財出願

- ① 国内出願( 0件)
- ② 海外出願( 0件)
- ③ その他の知的財産権

#### (5)受賞・報道等

- ① 受賞

1. 中垣俊之, 小林亮, 石黒章夫: イグノーベル賞認知科学賞 (2008.10.2)

2. 坂井善行, 石田怜, 大脇大, 手老篤史, 石黒章夫, 第 245 回計測自動制御学会東北支部優秀発表奨励賞 (2008.10.24)
3. 坂井善行, 石田怜, 大脇大, 手老篤史, 石黒章夫, 2008 年度計測自動制御学会学術奨励賞, (2009.2.27)
4. 武田光一, 梅舘拓也, 中垣俊之, 小林 亮, 石黒章夫: 第 15 回創発システム・シンポジウム優秀賞(2009.8)
5. 武田 孟, 塚辺有哉, 清水正宏, 石黒章夫: 第 15 回創発システム・シンポジウム奨励賞 (2009.8)
6. 大脇 大, 大須賀公一, 石黒章夫: 日本ロボット学会第 24 回研究奨励賞 (2009.9)
7. Masahiro Shimizu and Akio Ishiguro: 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems Best Paper Award Nomination Finalist (2009.10)
8. 中垣俊之、小林亮、高木清二、伊藤賢太郎：イグノーベル賞 交通計画賞：(2010-09-30)
9. 函館市長賞: 中垣俊之 (2010-11-15)
10. 計測自動制御学会東北支部優秀発表奨励賞 (第 258 回東北支部研究集会): 佐藤貴英 (2010)
11. 計測自動制御学会東北支部優秀発表奨励賞 (第 259 回東北支部研究集会): 武田光一 (2010)
12. 第 20 回日本数理生物学会年会ポスター賞: 渡邊航 (2010-09-16)
13. 第 20 回日本数理生物学会年会ポスター賞: 八重樫和之 (2010-09-16)
14. 第 53 回自動制御連合大会優秀発表賞: 梅舘拓也 (2010-11-4)
15. NHK 総合テレビ「爆笑問題の日本の教養」第一回爆ノーベル賞: 中垣俊之 (2011-03-08)
16. \* Takahide Sato, Takeshi Kano, and Akio Ishiguro, : 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems NTF Award Finalist for Entertainment Robots and Systems, 2011 年 9 月 29 日
17. 第 12 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 (SI2011) 優秀講演賞, 渡邊航, 鈴木翔太, 加納剛史, 石黒章夫, 2011 年 12 月 25 日
18. 日本ロボット学会第 26 回研究奨励賞, 武田光一, 2011 年 9 月
19. 計測自動制御学会 SI 部門賞若手奨励賞, 佐藤貴英, 2011 年 12 月
20. 計測自動制御学会東北支部優秀発表奨励賞 (第 269 回東北支部研究集会), 長澤昂, 2011 年 12 月
21. Presentation Excellence Award, Mayuko Iwamoto, Ryo Kobayashi, Daishin Ueyama, The 3rd Taiwan-Japan Joint Workshop for Young Scholars in Applied Mathematics, Taipei, 2012 年 2 月 28 日
22. 最優秀ポスター賞, Mayuko Iwamoto, Ryo Kobayashi, Daishin Ueyama, 明治大学大学院先端数理科学研究科開設シンポジウム, 2011 年 10 月 4 日
23. Takuya Umedachi, Ryo Idei, and Akio Ishiguro : 2012 The International Conference on Biomimetic & Biohybrid Systems (Living Machines 2012) Best Paper Award, 2012 年 7 月 12 日
24. Dai Owaki, Leona Morikawa, and Akio Ishiguro : 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems JCTF Novel Technology Paper Award for Amusement Culture Finalist, 2012 年 10 月 11 日
25. 岩本真裕子: 2012 年度日本応用数理学会年会優秀ポスター賞, 2012 年 8 月 30 日
26. T. Kazama, Best Demonstration Award (The International conference on Biomimetic and Biohybrid Systems (Living Machines 2013), The Natural History Museum, London, 29 July – 2. Aug. 2013
27. 佐竹冬彦, 加納剛史, 伊達 央, 井上康介, 石黒章夫 : 第 23 回日本数理生物学会大会ポスター賞, 2013 年 9 月 12 日
28. 佐藤英毅, 加納剛史, 坂本一寛, 松坂義哉, 青沼仁志, 石黒章夫 : 第 23 回日本数理生物学会大会ポスター賞, 2013 年 9 月 12 日

29. 若手優秀講演賞:岩本真裕子, 上山大信, 小林亮, "数理モデルを用いた腹足類這行運動メカニズムの解明", 2013 年度日本応用数学会年会, アクロス福岡, 2013 年 9 月 11 日.
30. Gold Award : Mayuko Iwamoto, Daishin Ueyama, Ryo Kobayashi, "Numerical Study on One-Dimensional Model for Adhesive Locomotion with Mucus", The 5th Taiwan-Japan Joint Workshop for Young Scholars in Applied Mathematics, National Center for Theoretical Sciences, Hsinchu, Taiwan (2014-02-28)
31. 大脇 大:トーキン財団奨励賞, 2014 年 3 月 4 日

## ②マスコミ(新聞・TV等)報道

1. 中垣 俊之、山田 裕康、小林 亮、手老 篤史、石黒 章夫、Agota Toth : Los Angeles Times, 2008.10.2, COGNITIVE SCIENCE: Toshiyuki Nakagaki, Hiroyasu Yamada, Ryo Kobayashi, Atsushi Tero, Akio Ishiguro and Agota Toth for discovering that slime molds can solve puzzles
2. 中垣 俊之、山田 裕康、小林 亮、手老 篤史、石黒 章夫、Agota Toth : Fox News, 2008.10.2, COGNITIVE SCIENCE: Toshiyuki Nakagaki, Hiroyasu Yamada, Ryo Kobayashi, Atsushi Tero, Akio Ishiguro and Agota Toth for discovering that slime molds can solve puzzles.
3. 中垣 俊之、山田 裕康、小林 亮、手老 篤史、石黒 章夫、Agota Toth : ABC News, 2008.10.2, COGNITIVE SCIENCE: Toshiyuki Nakagaki, Hiroyasu Yamada, Ryo Kobayashi, Atsushi Tero, Akio Ishiguro and Agota Toth for discovering that slime molds can solve puzzles.
4. 中垣 俊之、小林 亮、手老 篤史: BBC News, 2008.10.3, The Cognitive Science Prize team sing their acceptance speech
5. 中垣 俊之、小林 亮、手老 篤史: Telegraph, 2008.10.3, Toshiyuki Nakagaki [centre], of Hokkaido University, and fellow researchers sing their Ig Nobel Prize acceptance speech in three-part harmony , after they were awarded the Cognitive Science Prize
6. 中垣 俊之、小林 亮、手老 篤史: The Japan Times, 2008.10.4, Japanese win Ig Nobel for amoeba study
7. 小林 亮、中垣 俊之、手老 篤史、石黒 章夫、山田 裕康、Toth Agota : 中国新聞 2008 年 10 月 04 日「広島大の小林教授、イグ・ノーベル賞 単細胞が迷路解く」
8. 中垣 俊之 : 中日新聞 2008 年 10 月 07 日「「パズルを解く粘菌の研究」に対するイグノーベル賞認知科学賞受賞の報道」
9. 中垣 俊之 : 神戸新聞 2008 年 10 月 07 日「「パズルを解く粘菌の研究」に対するイグノーベル賞認知科学賞受賞の報道」
10. 中垣 俊之 : 北海道新聞 2008 年 10 月 10 日「「栄えある?「イグノーベル賞」受賞「迷路を解く粘菌」って!？」」
11. 手老 篤史、小林 亮、中垣 俊之 : 東京新聞 2008 年 10 月 12 日「「パズルを解く粘菌の研究」に対するイグノーベル賞認知科学賞受賞の報道」
12. 中垣 俊之 : 朝日新聞 2008 年 10 月 13 日「「ひと」欄にノーベル賞のパロディ「イグノーベル賞」を受けたとして紹介記事掲載」
13. 手老 篤史、小林 亮、中垣 俊之 : 京都新聞 2008 年 10 月 13 日「「パズルを解く粘菌の研究」に対するイグノーベル賞認知科学賞受賞の報道」
14. 石黒章夫:河北新報 2008 年 11 月 8 日「石黒東北大院教授にイグ・ノーベル賞」
15. 手老 篤史、小林 亮、中垣 俊之 : 読売新聞 2008 年 11 月 10 日「考える粘菌、迷路で最短ルート、光さける工夫も」
16. 手老 篤史、小林 亮、中垣 俊之 : 毎日新聞 2008 年 11 月 23 日「単細胞生物なのに迷路が得意な粘菌一同質集まり賢さ実現」
17. 石黒章夫:河北新報 2009 年 8 月 15 日「中央集権より分散型 ロボット制御 動き生き生き」

18. 石黒章夫:日経産業新聞 2009年9月3日「ヘビ型ロボット蛇行滑らかに 東北大「関節」ごと  
とに制御」
19. 石黒章夫:福島民報 2009年9月9日「東北大協力の出前講義で学ぶ 学法福島高」
20. 中垣俊之他:毎日新聞 2010年1月22日「粘菌が描く「関東の路線図」」
21. 中垣俊之他:日経新聞 2010年1月22日「粘菌が描く「路線図」」
22. 中垣俊之他:読売新聞 2010年1月22日「現実そっくり粘菌「鉄道網」」
23. 中垣俊之他:中日新聞 2010年1月22日「鉄道網づくりは粘菌にお任せ」
24. 中垣俊之他:北海道新聞 2010年1月22日「効率的な輸送網は粘菌に学べ」
25. 中垣俊之他:京都新聞 2010年1月22日「鉄道網、通信網づくりは粘菌にお任せ!!」
26. 中垣俊之他:愛媛新聞 2010年1月22日「餌求めて伸ばす管 効率的ネット形成」
27. 中垣俊之他:四国新聞 2010年1月22日「インフラ整備に粘菌の”知恵”を」
28. 中垣俊之他:高知新聞 2010年1月22日「鉄道網整備に粘菌の知恵を」
29. 中垣俊之他:静岡新聞 2010年1月22日「効率良くネットワーク インフラ整備に参考？」
30. 中垣俊之他:山形新聞 2010年1月22日「粘菌の”知恵”をインフラ整備に」
31. 小林亮他:中国新聞 2010年1月22日「通信網整備に粘菌の知恵」
32. T. Nakagaki et.al.: CBC News, 2010.1.22, Slime mould mimics Tokyo's rail way
33. T. Nakagaki et.al.: BBC News, 2010.1.22, Engineers 'can learn from slime'
34. T. Nakagaki et.al.: Herald de Paris, 2010.1.22, Engineers 'can learn from slime'
35. T. Nakagaki et.al.: The Economist, 2010.1.22, A life of slime
36. 朝日新聞 2010/10/01 粘菌またイグノーベル賞
37. 朝日新聞 2010/11/18 オピニオン記者有論 イグの心意気 枠から飛び出した科学に光
38. 朝日新聞 2010/11/20 科学あっちこっち面白い はこだて未来大 中垣教授「粘菌」で2度  
目のイグノーベル賞
39. 朝日小学生新聞 2010/10/02 粘菌使って鉄道網設計
40. 朝日小学生新聞 2010/10/19 マンガニュース ワカッタくん イグノーベル賞って何？
41. 毎日新聞 2010/10/01 イグノーベル賞 鉄道網に「粘菌の知恵」
42. 毎日新聞 2010/10/14 粘菌の“知恵” 優れたネットワーク
43. 読売新聞 2010/10/12 旬のひと 粘菌研究でイグノーベル賞を受賞した公立はこだて未来  
大教授
44. 読売新聞 2010/11/20 タイムカプセル 生物学者 中垣俊之さん
45. 読売新聞 2010/12/09 鈴木先生の灯(中) 知性磨いて世界に挑め
46. 日本経済新聞 2010/10/01 粘菌の知恵で鉄道整備
47. 日本経済新聞 2010/10/30 粘菌侮れぬ実力 生き物共通の謎を追う
48. 北海道新聞 2010/10/01 中垣教授 再び受賞 はこだて未来大 粘菌「知恵」研究で
49. 北海道新聞 2010/10/09 2度目の受賞に笑顔 粘菌研究でイグノーベル賞
50. 北海道新聞 2010/10/27 現代かわら版 笑いは地球を救う イグノーベル賞
51. 北海道新聞 2010/11/05 粘菌と人間 知性の源流を探検する
52. 北海道新聞 2010/11/16 イグノーベル賞2度受賞 中垣教授に市長賞
53. 北海道新聞 2010/11/23 粘菌生活に笑い
54. 中日新聞 2010/10/01 中垣氏 再びイグノーベル賞
55. 中日新聞 2010/10/17 粘菌が鉄道網を設計 イグノーベル賞って何？
56. 中日新聞 2010/11/15 目耳録 面白いこと
57. 中日新聞 2010/12/07 研究室発:合理的答え導く単細胞生物
58. 東京新聞 2010/10/01 イグノーベル賞2度目 粘菌の動きで交通網整備
59. 函館新聞 2010/11/16 未来大の中垣教授に市長賞 イグノーベル賞受賞
60. 日本経済新聞 2010/10/30 粘菌, 侮れぬ実力
61. 大阪歯科保険医新聞 2011/1/1 人間の「知性」に迫る粘菌研究
62. 聖教新聞 2011/3/17 ヒューマンインタビュー 2度目のイグノーベル賞 単細胞生物・粘菌の  
知性を研究

63. 中国新聞 2010/10/17 ビバ・キャンパス イグ・ノーベル賞 粘菌の研究で栄誉
64. 中垣俊之:朝日新聞(和歌山版), " 粘菌の知性 200人楽しむ 南方熊楠ゼミナール開催 ", 12月11日(2011)
65. ヘビ型ロボット・クモヒトデ型ロボットの紹介, NHK教育テレビ 大! 天才テレビくん(生き物のようなロボット), 2011年10月26日  
梅舘拓哉:以下のサイトにアメーバロボットの研究が紹介された。  
(1) [Technologyreview.com](http://www.technologyreview.com) (article title: Amoeboid Robot Navigates Without a Brain) <http://www.technologyreview.com/blog/mimssbits/27638/>  
(2) [Wired.co.uk](http://www.wired.co.uk) (article title: //Wired.co.uk:lob-bot navigates with no central brain) <http://www.wired.co.uk/news/archive/2012-03/13/amoeboid-robot>  
(3) POPSCI (article title : Video: Slime Mold Inspires Autonomous Brainless Undulating Robot)<http://www.popsi.com/technology/article/2012-03/video-slime-mold-inspires-new-autonomous-undulating-soft-robot>
66. 中垣俊之:「科学学ぶ大切さ 鈴木章氏ら講演」朝日新聞, 12月16日(2012)
67. 中垣俊之:「粘菌でコンピューター進化」中日新聞, 11月25日(2012)
68. 中垣俊之:「科学で子供に感動を」下野新聞, 11月24日(2012)
69. 中垣俊之:「笑わせ考えさせる研究 紹介、イグノーベル賞中垣教授、高志高 粘菌の応用語る」日刊 県民福井 9月25日(2012)
70. 中垣俊之:「自然科学の魅力知って 高志高で講演会 粘菌テーマに専門家」福井新聞 9月25日(2012)
71. 中垣俊之: Gray Matter -The wisdom of slime-(by A. Adamatzky and A. Ilachinski), New York Times, SundayReview (May 13, 2012)
72. T. Umedachi : L'approfondimento 紙, ``Io, robot... sarprofondimentoime-(by A. Ada
73. 中垣俊之:「心は三河 豊かな自然が原点 -北大電子研教授中垣俊之さん-」中日新聞, 3月3日(2014)

### ③その他

1. Y. Kuramoto, A. Tero, H. Yamada, A. Toth, T. Saigusa and T. Nakagaki : The American Scholar 2009年04月01日 “Vol. 78, No. 2, p. 15にて, Smarter than dirt という記事で我々の単細胞の情報処理研究、特にパズルを解くことと時間記憶があるということが紹介された。”
2. A. Tero, R. Kobayashi and T. Nakagaki : DISCOVER -Science, Technology and The Future- 2009年01月01日 “1月号にて100 TOP science stories of 2008という特集が生まれ、我々の粘菌研究が「Slime molds show primitive smarts」として71位にランクイン”
3. 中垣 俊之 : JST News 2009年01月01日 「「ようこそ研究室へ」欄にて「単細胞生物「粘菌」から生物の賢さを学ぶ」として紹介された」
4. 中垣 俊之 : クオリティ 2009年01月01日 「各界リーダー10人に一問一答コーナーで「単細胞生物の能力を応用してカーナビやロボットを作りたい」として紹介された」
5. 中垣 俊之 : 北方ジャーナル 2009年01月01日 「クローズアップ欄にて「迷路を解く粘菌の研究でイグノーベル賞受賞」
6. 中垣 俊之 : YOZEMI JOURNAL 2008年12月10日 「予備校代ゼミの発行する雑誌の研究室探訪欄で「数理生物学」として我々の研究室が紹介された」
7. 中垣 俊之 : 現代科学 2008年12月01日 「12月号に「迷路を解く粘菌がイグノーベル賞に」という紹介記事」
8. T. Nakagaki : NATURE 2008年10月09日 “NEWS欄にてイグノーベル賞記事のなかで紹介された”
9. 三枝 徹、手老 篤史、中垣 俊之 : NHK教育TV「サイエンスゼロ」 2008年12月28日 「教



- 育科学番組であるサイエンスゼロでの2008年年間ランキング特集にて、「ゼロのツボ」コーナーで粘菌研究がイグノーベル賞受賞とともに紹介された。」
10. 中垣 俊之：テレビ局NHK 北海道 2008年11月13日「夕方のニュース「まるごとニュース北海道」にて「イグノーベル賞と粘菌研究について」報道された。」
  11. 小林 亮：NHK 広島 2008年10月21日「お好みワイド イグ・ノーベル賞受賞 広島大学・小林教授に聞く」
  12. 中垣 俊之：テレビ局UHB 2008年10月21日「夕方のニュースにて「イグノーベル賞と粘菌研究について」報道された。」
  13. 中垣 俊之：NHKラジオ 2008年10月03日「番組「ラジオ朝一番」にて文化の日になんだ話題として「迷路を解く粘菌の研究」として15分ほどインタビュー形式で紹介された。」
  14. 手老 篤史、小林 亮、中垣 俊之：フジテレビ「特ダネ」2008年10月01日「「パズルを解く粘菌の研究」に対するイグノーベル賞認知科学賞受賞の報道」
  15. 小林 亮、中垣 俊之：インターネットサイト Nature asia pacific 2008年12月01日「インターネットサイト Nature asia pacific にて特集記事「脳や神経を持たない粘菌の情報処理能力を探る」として紹介された。」
  16. New Scientist 2009年07月01日「「Memristor minds: The future of artificial intelligence」(By Justin Mullins)という記事の中で、粘菌のパズルを解く計算能力や時間記憶能について、memristor 素子を用いた電子回路による実装との関連で紹介された。」
  17. 小林 亮、石黒 章夫、中垣 俊之：AXIS 2009年06月01日「未来技術報告第20回、「生物の知性の仕組みを解き明かす粘菌ロボットは創発するか」、Pp. 118-122, Vol. 139」
  18. Y. Kuramoto, A. Tero, H. Yamada, A. To'th, T. Saigusa and T. Nakagaki : The American Scholar 2009年04月01日「Vol. 78, No. 2, p. 15」にて、Smarter than dirt という記事で我々の単細胞の情報処理研究、特にパズルを解くことと時間記憶があるということが紹介された。
  19. 中垣 俊之：NHK 総合テレビ爆笑問題の日本の教養 爆問学問「単細胞は天才なのだ！」2009年12月15日 30分の番組で粘菌の賢さを探る我々の研究が紹介された。
  20. NHK ニュースネットワーク北海道 2010/10/01
  21. HBC ニュース1 2010/10/29
  22. NHK ニュースネットワーク北海道 2010/11/15
  23. フジテレビたけしの平成教育委員会 2010/11/21
  24. フジテレビたけしの新教育白書 2010/11/20
  25. フジテレビニュース
  26. TV 新広島 TSS スーパーニュース 2010/11/23
  27. 広島ホームテレビ Home J ステーション 2010/12/01
  28. NHK クローズアップ現代 2010/12/13
  29. 中垣 俊之：NHK 総合テレビ爆笑問題の日本の教養 爆問学問140回記念「今夜決定 爆ノーベル賞」(2011年3月8日)にて、粘菌の賢さを探る我々の研究が第一回の爆ノーベル賞を受賞した。
  30. 中川貴雄、中垣俊之、竹内薫:" 科学放談 環境破壊が今の地球を作った ", 新潮45, Vol. 30(7), pp. 154-165 (July, 2011)
  31. 中垣俊之:" 粘菌ネットワーク ", すごい自然図鑑 pp. 40-41 (2011)
  32. 中垣俊之:" 粘菌 ネットワークづくりは粘菌に学べ ", アラマタすごい生物図鑑 p. 159 (2011)
  33. 中垣俊之:" 粘菌が迷路を解いた? ", 内田洋行サイエンスカタログ, Vol. 61, pp. 148-149 (2011)
  34. Toshiyuki Nakagaki: Networking opportunities, The mathematics of life (written by Ian Stewart), Basic Books, New York, pp. 246-257 (2011)
  35. Toshiyuki Nakagaki : Introduction to our study on Physarum, Mycophylia -Revelations from the weird world of mushrooms- (written by Eugenia Bone),

Rodale-Macmillan, USA p. 51 (2011)

36. ヘビ型ロボット, ヒラムシ型ロボット, クモヒトデ型ロボットなどの紹介, BS フジ科学番組 ガリレオ X (バイオミメティクス 生物模倣が拓く未来), 2012年6月10日
37. 中垣俊之: 東京書籍 中学校指導用教材中学校理科 映像データベース10「生物と細胞」, 「迷路を解く粘菌の話」が掲載
38. Toshiyuki Nakagaki: "How brainless slime molds redefine intelligence" by Ferris Jabr, Scientific American, website, (Nov. 7, 2012)
39. 中垣俊之: "挑む 粘菌に知性の芽生えを探る", 日経サイエンス, 4月号, pp. 8-11 (2012)
40. 風間俊哉: "海洋生物に学ぶ高機能ロボットのチープ・デザイン", ロボコンマガジン, 1月号, オーム社, pp. 35-36, 2014

## §6 研究期間中の活動

### 6.1 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2008.11.7	合同セミナー	Tufts University	15	Prof. Trimmer のグループと情報交換
2008.12.26	合同セミナー	神戸大学	10	大須賀教授のグループと情報交換
2009.2.20	中国新聞文化センター講演会	中国新聞文化センター	50	小林: 一般向き講演「不思議! 計算するアメーバ」
2009.4.17	広島大学総合博物館第22回公開講演会	広島大学総合博物館	80	小林: 一般向き講演「計算するアメーバの不思議」
2009.4.	日本科学未来館 科学週間イベントセミナー	日本科学未来館	40	中垣: 講演「単細胞の賢さを探る」と対談
2009.6.1	広島夕学講座	広島商工会議所	120	小林: 一般向き講演「計算するアメーバの不思議」
2009.6.	北海道大学大学祭理学際模擬講義	北海道大学	100	中垣: 「単細胞生物粘菌に学ぶ賢い計算法」
2009.7.	北海道大学薬学部東京同窓会総会	東京学士会館	100	中垣: 特別講演「単細胞の賢さを探る」
2009.7.24	東北大学サイエンス・カフェ	仙台メディアアテーク	200	石黒: 一般向け講演「生き物とロボットのあいだ」
2009.7.28-29	合同セミナー	兵庫県立大学	20	粘菌とアメーバ運動に関する議論
2009.7.31	特別授業	鈴峰女子高等学校	60	小林: 計算するアメーバの不思議
2009.8.	物性若手夏の学校	志賀高原	50	中垣: 講義「アメーバ行動に見る賢さとそれをもたらすダイナミクス」
2009.8.	生物物理学会若手の会夏の学校	支笏湖ユースホステル	100	中垣: 講義「アメーバのエソロジー」
2009.8.	広島大学数学科一般公開講座	広島大学	100	中垣: 講演「単細胞の底力」

2009.9.7	特別授業	私立福島高等学校	100	石黒:一般向け講演「生き物とロボットのあいだ」
2009.9.	日本学術会議北海道地区会議主催サイエンスカフェ	函館市地域交流まちづくりセンター	30	中垣:「単細胞が迷路を解く!？」
2009.9.21-25	合同セミナー	パリ第7大学	7	関本謙氏と力学とロボティクスに関する議論
2009.9.26-9.30	合同セミナー	イエナ大学	7	Prof. Seyfarth と歩行・走行運動の制御に関する議論
2009.10.	理化学研究所基礎科学特別研究員キャリアセミナー講演会	理化学研究所	50	中垣:「ある基礎科学特別研究員のその後ーイグノーベル賞を受賞するまでー」
2009.10.	札幌市青少年科学館先端科学技術講座	札幌市青少年科学館	50	中垣:「不思議生物粘菌の賢さを探る」
2009.11.5	合同セミナー	東京大学	25	ウジ虫の運動系に関する議論
2010.1.	UHB 大学	札幌 道新ホール	300	中垣:「考える粘菌の不思議ーイグノーベル賞を受賞してー」
2010.2.20-24	合宿研修	朝里川	17	Tutorial, 進捗状況報告と議論
2010.5.14	特別授業	岩手県立千厩高等学校	100	石黒:一般向け講演「生き物とロボットのあいだ」
2010年7月13日	愛知県立豊田西高校創立70周年記念人生講演会	豊田市民文化会館	1500人	中垣:講演「科学者を夢見て」
2010年8月28日	南北海道創才セミナー(小中学生対象)	大沼国際セミナーハウス	200人	中垣:講演「単細胞の賢さを探る」
2010年10月14日	特別授業	観音高等学校	300人	小林:計算するアメーバの不思議
2010年10月20日	公立はこだて未来大学サイエンス夜話	はこだて町づくりセンター	30人	中垣:講演「単細胞の賢さを探る」
2010年10月28日	東洋哲学研究会講演会-現代化学の焦点/生命・脳・心-	函館ロワジュールホテル	200人	中垣:「単細胞(原始生命体)に学ぶ生命知のからくり」
2010年11月11日	県立青森中央高等学校出前授業	県立青森中央高等学校	40人	中垣:「単細胞の賢さを探る」
2010年12月3日	道新函館政経文化懇話会	函館ロワジュールホテル	200人	中垣:講演「人間と粘菌 知性の源流を探検する」
2010年12月18日	宇宙☆自然講座	浅口市ふれあい交流館サンパレア	48人	一般向き講演「計算するアメーバの不思議」
2011年4月19日	科学技術週間セミナー in 北海道 2011	ホテル札幌ガーデンパ	300人	中垣:特別講演「単細胞の底力」

		レス		
2011年 5月7日	第25回日本計算機統計学会特別一般講演	函館市亀田福祉センター	200人	中垣:特別講演「粘菌の行動知ー原始生命システムの自律分散情報処理ー」
2011年 5月10日	道南学びサポート講演会	函館まちづくりセンター	100人	中垣:特別講演「原生生物粘菌の賢さを探る」
2011年 5月14日	第41回道南獣医師会定期総会	ホテルリソル函館	30人	中垣:講演「原生生物粘菌の賢さを探る」
2011年 6月10日	自動車技術会中部支部年次総会特別講演会	名古屋国際会議場	400人	中垣:講演「粘菌その驚くべき知性」
2011年 6月14日	室蘭工業大学蘭学セミナー	室蘭工業大学	100人	中垣:講演「粘菌 その驚くべき賢さを探る」
2011年6月 25日	広島大学公開講座	広島大学総合博物館	80人	小林:一般向き講演「計算するアメーバの不思議」
2011年6月 25日	第19回東海中学高校サタデープログラム	東海中学高校	50人	中垣:講演「単細胞の底力」
2011年7月7 日	第48回薬剤学懇談会研究討論会ー先端科学技術と薬剤学の節点を探るー	山形かみのやま温泉ホテル古窯	100人	中垣:講演「粘菌のエソロジカルダイナミクス」
2011年8月 20日	札幌の教育を語る会夏の研修会	札幌東急イン	150人	中垣:講演「学問に遊びとユーモアを イグノーベル賞「粘菌で鉄道網設計」マヨネーズのような単細胞「粘菌」から見えること」
2011年8 月31日	蔵前工業会広島支部総会	ホテルグランビア	60人	小林:一般向き講演「計算するアメーバの不思議」
2011年9月 16日	札幌市立藻岩高校進路セミナー	札幌市立藻岩高校	500人	中垣:講演「科学者を夢見て」
2011年10月 1日	精神保健北海道大会	函館芸術ホール	500人	中垣:特別講演「迷路を解く巨大アメーバ細胞:粘菌」
2011年11月 1日	H23年度北海道大学獣医学部学術交流基金群講演会ーユニークな発想と発見の裏にあるものー	北海道大学獣医学部	100人	中垣:講演「粘菌のエソロジー」
2011年11月 8日	札幌旭が丘高校 進路セミナー学問研究会	札幌旭が丘高校	50人	中垣:講演「単細胞の底力ー問題解決の方法ー」
2011年 11月9日	特別授業	国泰寺高等学校	500人	小林:計算するアメーバの不思議
2011年 11月9日	自然の叡智に学ぶ技術セミナー	大阪科学技術センター	80人	粘菌の行動知に学ぶ、及びパネルディスカッション
2011年 11月28日	第84回分子研フォーラム	岡崎国立共同研究機構カンファレン	300人	中垣:特別講演「単細胞の賢さを探るー迷路を解く巨大アメーバ細胞:粘菌ー」

		スホール		
2011年11月 29日～30日	チーム内ミーティング (非公開)	はこだて未 来大学	6人	粘液測定の打ち合わせ
2011年12月 10日	和歌山県田辺市主催第 8回南方ゼミナール	和歌山県田 辺市	100人	中垣:特別講演「粘菌からの ぞく行動知の起源—学際的 視点から—」
2011年12月 16日	戦略的創造研究推進事 業個人研究さきがけ「知 の創生と情報社会」研 究領域第1期生研究成 果報告会	日本科学未 来館	80人	中垣:特別講演「天与の情 報機械初号機:粘菌」
2012年1月 12日	第49回北海道高等学 校理科教育研究大会生 物部会	札幌市立大 通高校	80人	中垣:講演「理科教材とし ての粘菌の可能性」
2012年1月 12日	第49回北海道高等学 校理科教育研究大会	札幌市立大 通高校	300人	中垣:特別講演「真正粘菌 —たかが単細胞されど単細 胞 変形体がつくるネットワ ークの妙技の秘密—」
2012年3月 16日	エネルギー教育賞表彰 式・記念講演会	東京	60人	小林:一般向き講演「計算す るアメーバの不思議」
2012年4月 23～25日	合同ミーティング	岡山大学理 学部臨海実 験所	18人	臨海実験所の研究者との研 究交流
2012年5月 30日	函館高齢者大学	函館市公民 館	200人	中垣:講演「原始生命体であ る粘菌の賢さを探る」
2012年6月 21日	公立はこだて未来大学 特別講演会 自己言及 的鼎談「文学と科学のは ざままで」	公立はこだ て未来大学	200人	中垣:芥川賞作家円城塔氏 ／学長中島秀之／中垣俊 之による鼎談
2012年7月 14日	第15回病院脳神経外 科学会文化講演	函館国際ホ テル	200人	中垣:文化講演「迷路を解く 粘菌の不思議」
2012年7月 28日	サイエンス・カフェ	広島大学	100人	小林:一般向き講演「計算す るアメーバの不思議」
2012年8月 31日	広島歯科医師会セミナ ー	広島	25人	小林:一般向き講演「計算す るアメーバの不思議」
2012年9月 3日	北海道渡島支庁小中学 校校長会研修会講演	函館市渡島 支庁	50人	中垣:講演「不思議生物粘 菌の賢さを探る」
2012年9月 24日	福井県立高志高校スー パーサイエンスハイク ール講演会	福井県立高 志高校	1000人	中垣:講演「迷路を解く粘菌 の不思議」
2012年10 月1日	合同ミーティング	同志社大学	12人	エコローケーションに関する 研究
2012.10.5	合同セミナー	Bielefeld University	15	Prof. Volker Dürr のグル ープと情報交換

2012年10月20日	函館キャンパスコンソーシアム 函館学 2012	函館市法華クラブホテル	100人	中垣: 講演「複雑系知能学への招待ー函館みらい大学の研究現場からー」
2012年10月22日	慶応大学医学部 先端研究施設共用促進事業講演会	慶応大学医学部	50人	中垣: 講演「粘菌による輸送ネットワークの適応的デザイン」
2012.10.26	特別授業	新潟県立長岡高等学校	80人	石黒: 一般向け講演「生き物とロボットのあいだ」
2012年11月22日	(株)3D Matrix 社内セミナー	東京 麹町 (株) 3D Matrix 本社	20人	中垣: 講演「単細胞の賢さを探る」
2012年11月23日	帝京大学主催とちぎサイエンスらいおん発足記念公開シンポジウム	帝京大学宇都宮キャンパス	100人	中垣: 特別講演「粘菌に学ぶネットワークと情報処理」
2012年12月6日	札幌啓成高校スーパーサイエンスハイスクール講演会	札幌啓成高校	100人	中垣: 科学の奥深さと面白さー粘菌研究の経験からー
2012年12月15日	北海道教育大学理科プロジェクトシンポジウム	北海道教育大学サテライトオフィス	100人	中垣: 特別講演「単細胞生物粘菌の不思議ー身近な科学フロンティアー」
2012年12月17日	群馬高専生物教育研究連携センター講演会	群馬高専群馬高専	100人	中垣: 「アメーバに学ぶ形づくりと情報処理ー身近な科学フロンティアー」
2013.5.1-2	合同セミナー	茨城大学	4人	へびの行動観察実験
2013年5月25日	豊島区共催第13回学習院大学生命科学シンポジウム	学習院大学	100人	中垣: 講演「粘菌のエソロジーとダイナミクス」
2013.6.2-7	合同セミナー	Tufts University	10人	Prof. Barry Trimmer らのグループと情報交換
2013年7月20日	第52回日本SF大会こいこん	広島アステールプラザ	25人	小林: 一般向き講演「計算するアメーバの不思議」
2013.8.7-8	合同セミナー	茨城大学	4人	へびの行動観察実験
2013.9.25	合同セミナー	Bielefeld University	5人	Prof. Volker Dürr のグループと情報交換
2013.10.1	合同セミナー	パリ第7大学	5人	関本謙氏と力学とロボティクスに関する議論
2013.10.7	特別授業	青森県立弘前中央高等学校	500人	石黒: 一般向け講演「生き物とロボットのあいだ」
2013.12.2-6	合同セミナー	Tufts University	15人	Prof. Barry Trimmer, Dr. Eric Tytell らのグループと情報交換
2013.12.24-26	合同セミナー	東北大学	8人	関本謙氏と力学とロボティクスに関する議論

2014.03.20- 21	CREST 国際シンポジ ウム	北海道大学	30	動物の運動と制御に関する 発表, 議論を行った。
-------------------	--------------------	-------	----	-----------------------------

## § 7 最後に

自律分散制御の設計論という点では、ある程度のもので出せたと思う。実際、我々が新しく自律分散ロボットを作るときに、一から悩むことは無い。とりあえずベーシックな齟齬関数(アクチュエータにおける応力の強さ)を作り、実機もしくはシミュレータを動かしてみてそれをポリッシュアップするというスキームでやれるからである。

研究期間中に、最終的な目標であった予測できない不定型な環境下を、自在にしなやかに動き回るロボットを作ることはできなかった。ただ、本プロジェクトの研究を通して、我々のとるべき道はクリアになった。多様な状況に対応できるロボットを作るためには、「それらすべての状況を先回りして、陽的な制御則を作りこむ」という道では断じて無い。あくまで、「身体および身体-環境間の相互作用の中に自然に埋め込まれた陰的な制御則にウェイトを置くべき」であり、そのことこそ我々が生物とOSCILLEXというロボットから学んだことである。もちろん言うは易しであって、ではそのように優れた身体を設計するにはどうするのかという問題が生じる。このように、次のステップでのターゲットが明確になったことは、大きな意味があったと考える。





