

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04035

研究課題名(和文) 社会性昆虫の集団的機能発現機構に関する実験・理論・データ解析からの融合研究

研究課題名(英文) Integrated Study from Experiment, Theory and Data Analysis on Emerging Mechanism of Collective Functions by Social Insects

研究代表者

西森 拓 (Nishimori, Hiraku)

広島大学・統合生命科学研究科(理)・教授

研究者番号：50237749

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目標は、アリのコロニーにおける高度で複雑な組織的行動について、実験と理論手法を組み合わせ、その発生機構を明らかにすることであった。初段階として、微細RFIDタグをコロニー内のアリ全てに装着し、個々の採餌行動を数ヶ月にわたってPCに自動記録し続ける新計測システムの構築に成功した。その後、当システムを用い、大規模な採餌行動データを取得し、次のことを明らかにした。i)コロニー内では一部の「勤勉グループ」に労働負荷が集中する階層構造が築かれていること。ii)階層構造は一ヶ月ほど持続し、その後労働順位が大きく入れ替わること。iii)入れ替えは、多数の個体の協調行動と見られること。

研究成果の学術的意義や社会的意義

様々な昆虫の中でも脳が小さく、限定的な情報処理しかできないアリの個体たちが、コロニー全体の大域的状況(食料不足など)に応じて適切に行動し、群れ全体の維持と繁栄に必要な機能を生み出すための機構の追求は、人間社会におけるしなやかな組織形成や維持機構の理解にもつながる。本研究を通じて我々は、これまでのアリの行動研究の最大のネックとなってきた、大量の個体の長時間行動データ取得を可能にする測定システムの開発に成功し、組織的採餌行動の特徴を定量的に明らかにした。本研究の成果は今後、国内外の同様の研究を加速させるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to clarify the mechanism of the sophisticated organizational behavior in ant colonies by combining experimental and theoretical methods. As a first step, we succeeded in constructing a new automatic measurement system in which we attached fine RFID tags to all ants in the colony and continuously recorded individual foraging behavior in PC for several months. After that, using this system, we obtained large-scale foraging behavioral data and clarified the followings; i) A hierarchical structure in which a large part of workload was carried by a small number of hard workers within the colony. ii) Hierarchical structure lasts for about a month, after which the working order changes significantly. iii) Swap is seen as a collective behavior of many individuals.

研究分野：非線形非平衡系の動力学

キーワード：自己組織化 社会性昆虫 自己駆動系

1. 研究開始当初の背景

アリのように、絶え間なく変動する外部環境に柔軟に対応し、長期間生き延びる安定した組織を構築・維持することは、昆虫よりはるかに高度な情報処理能力を持つ人間においてさえ容易には達成できないタスクといえる。にもかかわらず、状況判断や行動に関するリーダーを持たないアリが、なぜ、このような組織的タスクを行い得るのか。この基本問題に対する決定的な説明はなされていない。より踏み込んだ言い方をすれば、アリ個々の持つ情報(個体知)が、いかにして群れ(コロニー)全体の情報処理ルール(社会知)を生み出し、逆に、全体としての情報が、いかに各要素に伝わり、各個が全体に有利なように自分固有の作業を遂行するのか、そして、これらの情報の流れと複雑な組織的作業遂行がどのように関連しあっているのかについて、研究開始時点において、システムティックな理解がすすんでいなかった。その最大の理由は、対象とするシステム(アリの集団)のダイナミクスの長時間の持続的計測の困難性である。これが、システムの定量的解析を阻んできた。我々は、大量のアリの個体を認識できる新しい自動計測システムを開発し、統計物理学や理論生物学、生物行動実験などの融合領域で開拓されつつあるモデリングとデータ解析の手法によってブレークスルーが生み出されるものと考え、これらを系統的に企画し遂行することで、すぐれた社会知を発揮する集団的機能発現のしくみを解明することを目指した。

2. 研究の目的

本研究の基本目標は「単純な個が集まってできた群れによる、複雑でかつ融通の効く集団的機能の発現の機構を解明すること」であった。具体的には、社会性昆虫の代表ともいえるアリの自律的分業編成・再編や複雑なタスク遂行の様態としくみを、1).個体認識可能な新しい長時間集団行動自動計測システムの構築、2).1)を運用した従来にない大規模行動データの解析、3)数理モデリングを運用した群れの行動原則の推定、4)付随する種々の行動実験、5)個体内部での反応過程の化学分析,などを連動させて明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

上記の研究目的を達成するために、次の3項目の計画を順に実行した：

- (1)A:アリの採餌行動の自動個別計測系の構築、1B:自動計測系で得られた大規模なデータ解析と数理モデルを運用したアリの労働分業・状況即応の役割再編機構の定量的解明
- (2)より高度な社会性に関する実験と数理モデリング
- (3)アリに限らない、より一般的な—生物・無生物に共通する--「群れ運動」の機構の解明を無生物からなる自己駆動系のダイナミクスから

4. 研究成果

本研究の具体的な目標は、アリの自律的分業編成や複雑なタスク遂行の様態としくみを、1).個体認識可能な新しい長時間集団行動自動計測システムの構築、2).1)を運用した大規模行動データの解析、3)2)の帰結と従来の数理モデリングの帰結の比較検討、4)付随する種々の行動実験、5)自己駆動系のダイナミクスと生き物の群れ運動の比較検討,を通して定量的に理解することであった。これらの目標に沿って研究を遂行し、以下の成果を得た。

- (1) 民間企業(エスケー・エレクトロニクス社)の協力の下、極小 RFID チップを使ってアリの集団行動を個体認識し、かつ、長期的に自動計測し PC にデータを転送し記録する自動計測システム構築に成功した。このシステムは、アリ社会の組織的行動に関する定量的研究に新たな飛躍をもたらすと考えられる。



図 1:測定対象のアリの背に貼付した一辺 0.5mm の微小 RFID チップ (拡大図内の四角形)

- (2) 構築した自動計測システムを用い、5 個のコロニーのアリの個体全て(計 750 匹)の採餌行動(巣から採餌場へ移動するためのゲート通過時刻)のを 3 ヶ月間にわたり記録し、得られたデータの解析を行った。その結果、

- (i) 各コロニー内の採餌に関わるワーカーの採餌活動量は均一でないこと。具体的には、各コロニーでの全観測時間をとおしたタスク活動量分布(ゲート通過回数分布)は、一般化ガンマ分布によって最適のフィッティングできること。
- (ii) 単位期間(1 日)毎の各コロニー内のワーカー間の採餌活動量の順位付けは、長期にわたってゆっくり入れ替わる。具体的には、活動量順位の相関係数(スピアマンの順位相関係数)がおおよそ二ヶ月をかけてゼロ近くまで緩和していくこと。

が判明した。(i)で得られた一般化ガンマ分布は、「同一タスクを分担するワーカー間の活動量はほぼ均等」という、従来の標準的な仮説(RT 仮説)や標準的数理モデル(FRT モデル)の帰結と大きく異なっており、新たな議論を喚起している。また、(ii)の結果も、「同一タスクを分担するワーカー間の活動順位は非常に頻繁に入れ替わる」という従来の標準的数理モデル(FRT モデル)の帰結に反した結果となっている。

- (3)コロニーを採餌頻度の高いアリの集団と採餌頻度の低い集団に二分割した場合、後者の分割前に採餌頻度の低かった集団内では、その一部が採餌活動を向上させることで集団全体としての採餌活動度の低下を防ぐことを、コロニー分割実験で確認した。一方、前者の分割前に採餌頻度が高かった集団内では、個々のアリの採餌頻度は分割前と大きく変化しない。これらは、アリ集団の働きが集団を囲む状況に応じて、可塑的に変動することを示している。

- (4)主に複数の樟脳粒からなる自己駆動系において、非常に多彩なダイナミクス(間欠的運動、玉突き上の連鎖的駆動、運動方向の自動反転など)が発生することを実験的に示し、これらの現象を再現しその機構を説明する数理モデルの提案を行った。アリの群れなどの生きた要素の集団からなるシステムの振る舞いと、樟脳粒という比較的単純な要素集団の振る舞いの類似点と相違点を系統的に示すことで、多彩な運動様相や機能をもつ組織の自律的形成の機構の基本解明に向けて一定の貢献をした。

以上、主にアリのコロニーの採餌行動の実験的検証において従来にない規模の定量的計測手法を導入し、さらに、数理モデルや分野間を融合する新しい手法を組み合わせ、リーダーのない「群れ一般」における集団的ダイナミクスや機能の自律的発現の機構に関する新しい知見を得た。これらは、当初の研究目標に合致するものであり、その成果は、論文として内外の論文雑誌に掲載された他、国際会議の講演においても発表された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 4件）

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Shiraishi Masashi, Takeuchi Rito, Nakagawa Hiroyuki, Nishimura Shin I, Awazu Akinori, Nishimori Hiraku | 4. 巻 465 |
| 2. 論文標題 Diverse stochasticity leads a colony of ants to optimal foraging | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Theoretical Biology | 6. 最初と最後の頁 7~16 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jtbi.2019.01.002 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Nakata Satoshi, Kayahara Katsuhiko, Kuze Masakazu, Ginder Elliott, Nagayama Masaharu, Nishimori Hiraku | 4. 巻 14 |
| 2. 論文標題 Synchronization of self-propelled soft pendulums | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Soft Matter | 6. 最初と最後の頁 3791~3798 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8sm00517f | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Nakata Satoshi, Kayahara Katsuhiko, Yamamoto Hiroya, Skrobanska Paulina, Gorecki Jerzy, Awazu Akinori, Nishimori Hiraku, Kitahata Hiroyuki | 4. 巻 122 |
| 2. 論文標題 Reciprocating Motion of a Self-Propelled Rotor Induced by Forced Halt and Release Operations | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C | 6. 最初と最後の頁 3482~3487 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.7b12089 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 Nakata Satoshi, Irie Yasutaka, Suematsu Nobuhiko J. | 4. 巻 123 |
| 2. 論文標題 Self-Propelled Motion of a Coumarin Disk Characteristically Changed in Couple with Hydrolysis on an Aqueous Phase | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B | 6. 最初と最後の頁 4311~4317 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b11534 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名 Suematsu Nobuhiko J., Nakata Satoshi | 4. 巻 24 |
| 2. 論文標題 Evolution of Self-Propelled Objects: From the Viewpoint of Nonlinear Science | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal | 6. 最初と最後の頁 6308 ~ 6324 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201705171 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|----------------------------|
| 1. 著者名 Nishimori Hiraku, Suematsu Nobuhiko J., Nakata Satoshi | 4. 巻 86 |
| 2. 論文標題 Collective Behavior of Camphor Floats Migrating on the Water Surface | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan | 6. 最初と最後の頁 101012 ~ 1-9 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.86.101012 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名 Nakata Satoshi, Kayahara Katsuhiko, Yamamoto Hiroya, Skrobanska Paulina, Gorecki Jerzy, Awazu Akinori, Nishimori Hiraku, Kitahata Hiroyuki | 4. 巻 122 |
| 2. 論文標題 Reciprocating Motion of a Self-Propelled Rotor Induced by Forced Halt and Release Operations | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C | 6. 最初と最後の頁 3482 ~ 3487 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.7b12089 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 山中 治、粟津 暁紀、西森 拓 | 4. 巻 35 |
| 2. 論文標題 アリの採餌行動における定位情報の優先的切替行動の理解への展望 | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 日本ロボット学会誌 | 6. 最初と最後の頁 444 ~ 447 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7210/jrsj.35.444 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Mizuno Takafumi, Hayashi Masayuki, Akino Toshiharu | 4. 巻 124 |
| 2. 論文標題 Combined use of two defensive traits in pupae of <i>Scymnus posticalis</i> ladybirds | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Ethology | 6. 最初と最後の頁 468 ~ 474 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/eth.12748 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|----------------------------|
| 1. 著者名 T. Ogawa, E. Shoji, N. J. Suematsu, H. Nishimori, S. Izumi, A. Awazu, M. Ima | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 The Flux of <i>Euglena gracilis</i> Cells Depends on the Gradient of Light Intensity | 5. 発行年 2016年 |
| 3. 雑誌名 PLOS ONE | 6. 最初と最後の頁 0168114-1-14 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0168114 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 Yui Matsuda, Nobuhiko J. Suematsu, Hiroyuki Kitahata, Yumihiko S. Ikura, Satoshi Nakata | 4. 巻 654 |
| 2. 論文標題 Acceleration or deceleration of self-motion by the Marangoni effect | 5. 発行年 2016年 |
| 3. 雑誌名 Chemical Physics Letters | 6. 最初と最後の頁 92-96 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cpllett.2016.05.008 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 Kazunori Takamiya, Keisuke Yamamoto, Shuhei Isami, Hiraku Nishimori, and Akinori Awazu | 4. 巻 7 |
| 2. 論文標題 Excluded volume effect enhances the homology pairing of model chromosomes | 5. 発行年 2016年 |
| 3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE | 6. 最初と最後の頁 66-75 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.7.66 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 西森拓、荻原悠祐 | 4. 巻 51 |
| 2. 論文標題 アリの採餌経路決定 における優先情報の切り替え | 5. 発行年 2016年 |
| 3. 雑誌名 昆虫と自然 | 6. 最初と最後の頁 36-38 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------|
| 1. 著者名 Yamanaka Osamu, Shiraishi Masashi, Awazu Akinori, Nishimori Hiraku | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Verification of mathematical models of response threshold through statistical characterisation of the foraging activity in ant societies | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Scientific Reports | 6. 最初と最後の頁 1-8 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-45367-w | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------------|
| 1. 著者名 Suematsu Nobuhiko J., Saikusa Kazumi, Nagata Toshiki, Izumi Shunsuke | 4. 巻 35 |
| 2. 論文標題 Interfacial Dynamics in the Spontaneous Motion of an Aqueous Droplet | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Langmuir | 6. 最初と最後の頁 11601 ~ 11607 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.9b01866 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Matsuda Yui, Ikeda Kota, Ikura Yumihiko, Nishimori Hiraku, Suematsu Nobuhiko J. | 4. 巻 88 |
| 2. 論文標題 Dynamical Quorum Sensing in Non-Living Active Matter | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan | 6. 最初と最後の頁 093002 ~ 093002 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.093002 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名 Kuze Masakazu, Horisaka Mari, Suematsu Nobuhiko J., Amemiya Takashi, Steinbock Oliver, Nakata Satoshi | 4. 巻 123 |
| 2. 論文標題 Chemical Wave Propagation in the Belousov-Zhabotinsky Reaction Controlled by Electrical Potential | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry A | 6. 最初と最後の頁 4853 ~ 4857 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpca.9b02636 | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Koyano Yuki, Kitahata Hiroyuki, Nakata Satoshi, Gorecki Jerzy | 4. 巻 30 |
| 2. 論文標題 On a simple model that explains inversion of a self-propelled rotor under periodic stop-and-release-operations | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science | 6. 最初と最後の頁 023105 ~ 023105 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5140626 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 該当する |

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 12件 / うち国際学会 7件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hiraku Nishimori |
| 2. 発表標題 Intelligent Group by Innocent Individuals: Autonomous Task Allocation Dynamics of Foraging Ant |
| 3. 学会等名 The 6th International Workshop on Physics of Social Complexity, Pohang, Korea (招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hiraku Nishimori |
| 2. 発表標題 Investigating Dynamics of Sand Dunes Using Combination of Lattice-Boltzmann Method and Sand-Particles-in-Cell Model |
| 3. 学会等名 Workshop on SNOW PHYSICS, Niseko, Hokkaido (招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西森拓 |
| 2. 発表標題 賢くない個体達による知的な集団行動 アリ社会における自律的分業の発生と維持の機構 |
| 3. 学会等名 群体数理技術検討会, 名古屋 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 西森拓 |
| 2. 発表標題 個体認証計測に基づくアリの組織的行動の解明 |
| 3. 学会等名 散逸構造、カオス、複雑系 シンポジウム (招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 門田梨歩, 山中治, 白石允梓, 栗津暁紀, 西森拓 |
| 2. 発表標題 アリの採餌における動員のダイナミクスと労働階層発現のモデル |
| 3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hiraku Nishimori |
| 2. 発表標題 Intelligent Group Behavior by Unintelligent Individuals: Autonomous Task Allocation Dynamics of Foraging Ants |
| 3. 学会等名 The 2nd Workshop on Self-Organization and Robustness of Evolving Many-Body Systems (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西森拓 |
| 2. 発表標題 賢くない個体たちによる知的な集団行動 -- アリの集団採餌における自律的分業-- |
| 3. 学会等名 第37回エアロ・アクアバイオメカニズム学会定例講演会（招待講演） |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 西森 拓 |
| 2. 発表標題 アリの集団採餌 自律的制御による分業ダイナミクス |
| 3. 学会等名 第1回松江数理生物学・現象数理学ワークショップ（招待講演） |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Masahiro Nakao, Osamu Yamanaka, Masashi Shiraishi, Akinori Awazu, Hiraku Nishimori |
| 2. 発表標題 Situation-Dependent Task Allocation in Camponotus japonicus |
| 3. 学会等名 SWARM 2017The 2nd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics（国際学会） |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Masashi Shiraishi,Osamu Yamanaka, Akinori Awazu, Hiraku Nishimori |
| 2. 発表標題 Analysis on Activity Statistics and Its Dependence on Spatial Location in the Nest using RFID Sensors in Camponotus janpnicus |
| 3. 学会等名 SWARM 2017:The 2nd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics,（国際学会） |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hiraku Nishimori |
| 2. 発表標題 Intelligent Group Behavior by Innocent Individuals: Autonomous Task Allocation Dynamics of Foraging Ants |
| 3. 学会等名 科研費補助金新学術領域「ゆらぎと構造の協奏」第3回領域研究会(招待講演)(国際学会) |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hiraku Nishimori |
| 2. 発表標題 Intelligent Group by Innocent Individuals: Autonomous Task Allocation Dynamics of Foraging Ant |
| 3. 学会等名 The 1st Workshop on Self-Organization and Robustness of Evolving Many-Body Systems(招待講演)(国際学会) |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 西森拓 |
| 2. 発表標題 小さなアリたちが築く賢い社会 -アリの行動実験と数理科学的アプローチ- |
| 3. 学会等名 2016武蔵野大学数理工学シンポジウム(招待講演) |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hiraku Nishimori |
| 2. 発表標題 Dynamical aspects of group foraging of ants |
| 3. 学会等名 The 3rd International Workshop on Physics of Social Complexity(招待講演)(国際学会) |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 西森拓 |
| 2. 発表標題 アリ集団の採餌ダイナミクス--自律的分業とゆらぎの利用-- |
| 3. 学会等名 A I C Sシンポジウム「群れ」(招待講演) |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hiraku Nishimori |
| 2. 発表標題 On Autonomous Workload Compensation in Ant Colonies |
| 3. 学会等名 The 5th Workshop on Self-Organization and Robustness of Evolving Many-Body Systems (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 Satoshi Nakata et al. | 4. 発行年 2018年 |
| 2. 出版社 Royal Society of Chemistry | 5. 総ページ数 371 |
| 3. 書名 Self-organized Motion : Physicochemical Design based on Nonlinear Dynamics | |

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--|--|----|
| 研究分担者 | 粟津 暁紀 (Awazu Akinori) (00448234) | 広島大学・統合生命科学研究科(理)・准教授 (15401) | |

6. 研究組織 (つづき)

| | 氏名 (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--|-------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 秋野 順治 (Akino Toshiharu) (40414875) | 京都工芸繊維大学・応用生物学系・教授 (14303) | |
| 研究分担者 | 中田 聡 (Nakata Satoshi) (50217741) | 広島大学・統合生命科学研究科(理)・教授 (15401) | |
| 研究分担者 | 末松 信彦 (Suematsu Nobuhiko) (80542274) | 明治大学・総合数理学部・専任准教授 (32682) | |
| 研究分担者 | 泉 俊輔 (Izumi Shunsuke) (90203116) | 広島大学・統合生命科学研究科(理)・教授 (15401) | |