

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：32690

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K18343

研究課題名（和文）蟻の近傍情報に基づく予期的行動と歩行特性の解明

研究課題名（英文）Study of Movement Strategy of Ants based on Local Information

研究代表者

崎山 朋子（Sakiyama, Tomoko）

創価大学・理工学部・准教授

研究者番号：30770052

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：主に3つの成果を得ることができた。第一に、直線メイズ上でのアリのラーニング・ウォーク時に、目印の提示の有無による普遍的歩行ノイズの出現について検証した。第二に、トレッドミル装置を用いたアリの長時間歩行解析を行い、見かけ上の歩行多様性と、その先の普遍的揺らぎの特性について時系列解析を行った。両論文とも比較生理学の専門誌であるJournal of Comparative Physiology Aに掲載済みである。第三に、蟻道に合流した個体が逆流することで、安定的な目的地到達を行っていることを検証した。こちらはScientific Reports誌に掲載済みである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アリの空間認識は環境との兼ね合いで変化しうる。本テーマでは歩行解析に焦点を当て、アリ自身が知覚される世界に対して積極的に関わり得る際にみせる、特有の歩行ノイズの出現可能性について、実験的に検証した。従来より、アリが他の情報との兼ね合いで、フェロモンへの依存度も変化させる可能性は示唆されていた。今回、他個体との接触がフェロモン上での進むべき方向をアリに与えることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：I conducted the analysis of the movement property of foraging ants using Japanese wood ants. Mainly, two papers were published by the Journal of Comparative Physiology A. Some proceedings related to these two papers were also published. In the first paper, I revealed that ants presented different types of fluctuation functions based on the presence/absence of a visual landmark when they exhibited a learning-walk. In the second paper, I revealed that ants presented the universal property regarding the fluctuation functions during exploring on a treadmill (ANTAM) while they apparently demonstrated different types of movement patterns. I also conducted a survey of the acition of ant foragers after entering a pheromone trail and found that they moved against the ant flows. This finding was published by Scientific Reports, including the simulation experiments.

研究分野：認知科学

キーワード：ピンクノイズ fluctuation function 探索蟻 採餌パターン 蟻道 接触 逆流

1. 研究開始当初の背景

生物の示す歩行特性には特徴的なものも多く、蟻においても、餌場への再訪などにおいて、状況に応じた特性を示すことが知られている。一方で、蟻はミツバチ等と同様、ラーニング・ウォークを実施することも知られている。ラーニング・ウォークとは、巣から出た際や、新たな餌を発見した際に、周囲を旋回しつつ、巣、あるいは餌場付近の支配的な視覚的情報を覚えようとする行動である。ラーニング・ウォーク時には、非常に短い停止相を示し、あらゆる角度、距離から目印に対して頭を向けることが知られており、その間に何かしらのスナップショット情報を取得していると考えられている。スナップショット情報を組み合わせ、効率的な帰巢や採餌を行っているものと考えられている。

しかしながら、ラーニング・ウォーク時の歩行特性についてはあまり知られていない。蟻のラーニング・ウォークは、将来その情報を使うかもしれないという意味において、予期的動作であると言える。このような予期的動作において見いだされる特徴的歩行特性とその意義について究明することが、本テーマの目的となる。

加えて、蟻道における個体間相互作用も重要視されている。特に、近年蟻道上での他個体の存在が注目されているため、それに関する実験も併せて行った。

2. 研究の目的

上述の通り、本テーマでは、蟻の歩行特性における実験的・理論的検証を行う。この際、

1. 予期的行動であるラーニング・ウォーク時の歩行特性および長時間歩行解析を可能とする環境下でのトラッキング
2. 蟻道上での蟻の流れが、合流個体に与える影響について

の2種類を主な目的とする。

3. 研究の方法

まず、研究テーマ1である、予期的行動であるラーニング・ウォーク時の歩行特性に関する実験について示す。歩行解析を扱いやすくするため、図1に記載の通り、1次元上のメイズを作成し、メイズ中央部に餌と支配的な目印を導入した。この実験では、比較的視力も高く、また、単一で採餌・探索を行うことが知られているクロヤマアリのワーカーを用いた。図1にある通り、条件aでは目印および餌がともに提示されているのに対し、条件bでは、餌のみとなっている。また、条件cでは目印のみとなっている。

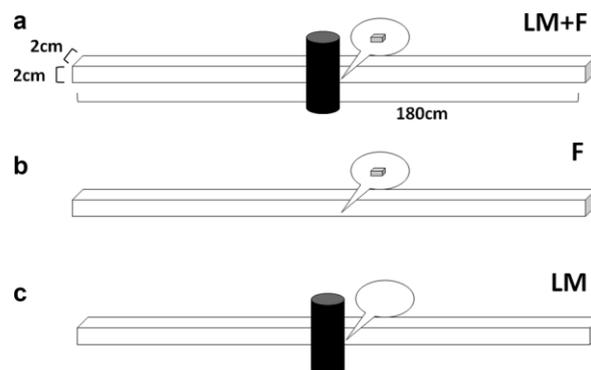


図1. テーマ1の実験系.
(Sakiyama, JCPA, 2018 より)

巣穴から出てきた個体1匹をメイズ中央に置くと、餌にしばらく夢中となるが、しばらくして、餌の周囲をうろろするという動作が確認された。その際の、歩行の解析を行った。

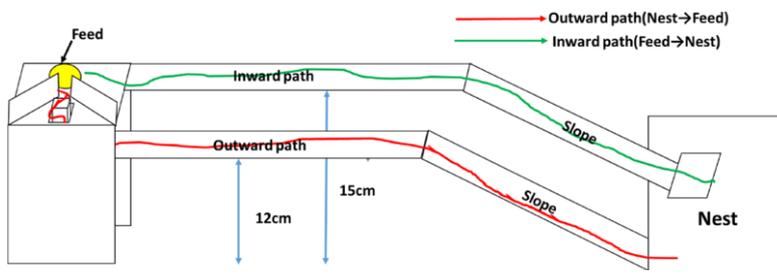


図2. テーマ2の実験系.
(Sakamoto & Sakiyama, 2022 より)

続いて、同じく研究テーマ1である、長時間歩行解析を可能とする環境下でのトラッキングを、クロヤマアリのワーカーを用いて行った。こちらの実験では、小型昆虫の長時間

トラッキング装置であるANTAMを用いた。ANTAM上にワーカー1匹を導入し、ワーカーがANTAM球体上を移動すると、反対方向に球体が回転することで、ワーカーは常に球体の頂点に位置することができる。マウスセンサを用いて、ワーカーの移動座標を算出し、歩行様相に関する解析を行った。

さいごに、テーマ2である、蟻道合流に関する実験を行った。この実験では、図2にある通り、

往路と復路とを分けた装置を用いて、事前にトビイロケアリの流れを発生させておく。そこに、対象個体を直角に合流させ、蟻道の流れに沿うかどうかを検証した。

4. 研究成果

まず、テーマ1について述べる。図3の通り、条件aではセグメンテーション振幅に複雑なリズムがみられることが明らかとなった。つまり、単調に時間とともに振幅が増加するのではなく、予測不能な形でリズムを刻んでいることが分かる。解析の結果、スケールフリー性と関連のある、ピンクノイズを示すことが分かった。この特徴的ノイズは、細かいターンと長いターンが入り乱れており、ラーニング・ウォーク時における、様々な距離・角度からの視覚情報の取得に一役買っていると推測できる。

次に、長時間トラッキングの結果について述べる。ANTAM上の歩行解析より、先ほどのテーマ1同様、探索蟻はピンクノイズを示すことが明らかとなった。

興味深いことに、各蟻は見かけ上、様々な軌跡を示す(図4)。しかしながら、歩行におけるゆらぎ解析より、見かけ上の軌跡に関係なく、ピンクノイズを示すことが明らかとなった。

このことは、軌跡の見た目によらない、不偏的なゆらぎの特性を各蟻が示していることを示唆している。スケールフリーの性質より、局所的減速・あるいは加速を繰り返すことで、探索時における局所と広域探索との効率性を計っているものと推測できる。

上記2テーマは、ともに、比較生理学で著名な *Journal of Comparative Physiology A* に掲載済みである。また、テーマ2におけるモデルとの比較については、国際会議にて発表の *Proceedings* となっている。さらに、関連する研究成果は複数の国内学会等でも発表された。

さいごに、蟻道における個体の意思決定に関する実験研究についても一定の成果をあげることができた。蟻道に直角に合流した個体は、流れに反する方向へ前進することが分かった。他個体がない場合(すなわちフェロモンだけの場合)では、選択率はイーブンに下がった。シミュレーションと併せることで、その機能的意義についても論じた。他個体とのぶつかり合いを通して、進行方向を確定しており、これが特定の餌場への短時間での到達に貢献することが明らかとなった。なお、流れに沿う場合をシミュレートすることで、その場合ではむしろ時間がかかってしまうことも明らかとなった。以上の成果は *Scientific Reports* 誌に掲載済みである。

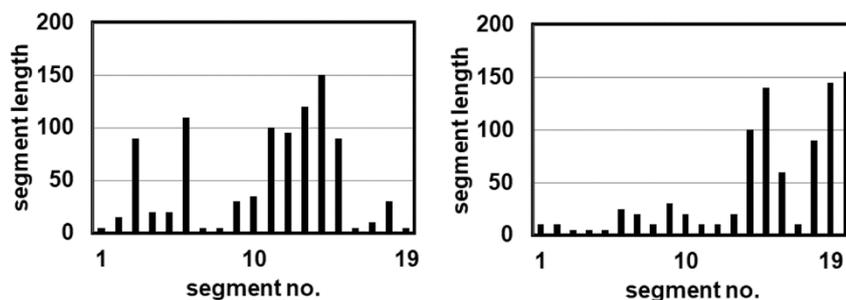


図3. セグメンテーション振幅の例. 左: LM+F, 右: LM (Sakiyama, JCPA, 2018 より)

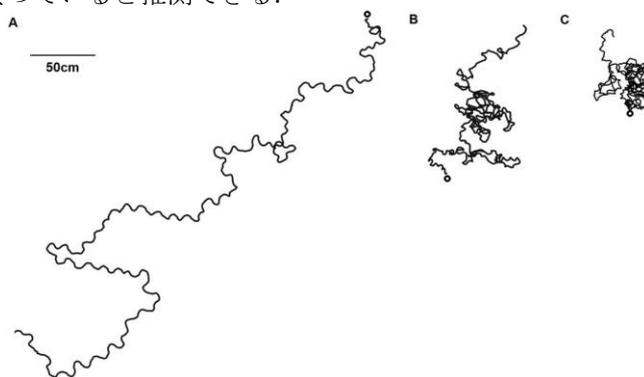


図4. 軌跡の例. (Sakiyama et al., JCPA, 2021 より)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Yuta Sakamoto, Tomoko Sakiyama	4. 巻 12
2. 論文標題 Ant <i>Lasius niger</i> joining one-way trails go against the flow	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-05879-4	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 Yuta Sakamoto, Tomoko Sakiyama	4. 巻 58
2. 論文標題 Dose an Ant Move in the Same Direction with Ant Crowds after Joining a Pheromone Trail?	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers	6. 最初と最後の頁 2~6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.9746/sicetr.58.2	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 Tomoko Sakiyama	4. 巻 4
2. 論文標題 A vague memory can affect first-return time	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics Communications	6. 最初と最後の頁 065005 ~ 065005
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/2399-6528/ab9801	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 崎山朋子	4. 巻 2166
2. 論文標題 ネットワーク上のタカ・ハトゲームにおけるリンクの多義的解釈が与える影響について	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 数理解析研究所講究録 (2020)	6. 最初と最後の頁 40-43
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 Koji Takashima, Tomoko Sakiyama	4. 巻 X
2. 論文標題 Self-Avoiding Walk with the Autonomous Selection on the Network Exploration	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SICE Annual Conference 2020	6. 最初と最後の頁 1069-1072
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sakiyama Tomoko	4. 巻 146
2. 論文標題 A power law network in an evolutionary hawk?dove game	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chaos, Solitons & Fractals	6. 最初と最後の頁 110932 ~ 110932
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chaos.2021.110932	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 Sakiyama Tomoko	4. 巻 3
2. 論文標題 A Random Walker Can Optimize the Exploration without the Large Capacity Memory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 14th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies (BIOSTEC 2021)	6. 最初と最後の頁 209-212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5220/0010369902090212	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 Tamura Yoshiaki, Sakiyama Tomoko, Arizono Ikuo	4. 巻 2021
2. 論文標題 Ant Colony Optimization Using Common Social Information and Self-Memory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Complexity	6. 最初と最後の頁 1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2021/6610670	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 Sakiyama Tomoko	4. 巻 31
2. 論文標題 A recipe for an optimal power law tailed walk	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science	6. 最初と最後の頁 023128 ~ 023128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0038077	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 Sakiyama Tomoko, Nagaya Naohisa, Fujisawa Ryusuke	4. 巻 207
2. 論文標題 Ant foragers might present variation and universal property in their movements	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Comparative Physiology A	6. 最初と最後の頁 429 ~ 435
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00359-021-01484-4	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 Tomoko Sakiyama	4. 巻 0
2. 論文標題 Temporary Suspension brings about the Cooperative Evolution in the Hawk-Dove Game	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2019 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)	6. 最初と最後の頁 3230-3233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SSCI44817.2019.9002950	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 Tomoko Sakiyama	4. 巻 10(1)
2. 論文標題 Interactions between worker ants may influence the growth of ant cemeteries	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-59202-0	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 Tomoko Sakiyama, Ikuo Arizono	4. 巻 2019(1956521)
2. 論文標題 Reversible Transitions in a Cellular Automata-Based Traffic Model with Driver Memory	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Complexity	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) 10.1155/2019/1956521	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 Tomoko Sakiyama, Naohisa Nagaya, Ryusuke Fujisawa	4. 巻 0
2. 論文標題 Autonomous Transition between Self-Avoiding Walk and Self-Attracting Walk in the Artificial Ant Model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of The 3rd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics(SWARM2019)	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masato Kondo, Tomoko Sakiyama, Ikuo Arizono	4. 巻 0
2. 論文標題 A Novel Firefly Algorithm for Multimodal Optimization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of The 12th International Workshop on Applied Modelling & Simulation	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tatsuya Yamaguchi, Tomoko Sakiyama, Ikuo Arizono	4. 巻 0
2. 論文標題 Proposal on Network Exploration to avoid Closed Loops	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of The 12th International Workshop on Applied Modelling & Simulation	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomoko Sakiyama, Ikuo Arizono	4. 巻 121
2. 論文標題 An adaptive replacement of the rule update triggers the cooperative evolution in the Hawk-Dove game	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chaos, Solitons & Fractals	6. 最初と最後の頁 59-62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chaos.2019.01.014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomoko Sakiyama	4. 巻 205
2. 論文標題 Emergence of a complex movement pattern in an unfamiliar food place by foraging ants	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Comparative Physiology A	6. 最初と最後の頁 61-66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00359-018-1303-z	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 Masato Kondo, Tomoko Sakiyama, Ikuo Arizono	4. 巻 6
2. 論文標題 Ant System Combined with Autonomy and Cooperativeness	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Advances in Science, Engineering and Technology	6. 最初と最後の頁 56-61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomoko Sakiyama, Ikuo Arizono	4. 巻 2018-1
2. 論文標題 Coordination of Pheromone Deposition Might Solve Time-Constrained Travelling Salesman Problem.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Complexity	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2018/6498218	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 Tomoko Sakiyama, Yukio-Pegio Gunji	4. 巻 5(3)
2. 論文標題 Optimal random search using limited spatial memory.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Royal Society Open Science	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsos.171057	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 -

[学会発表] 計15件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 崎山朋子, 永谷直久, 藤澤隆介
2. 発表標題 蟻はピンクノイズで探索する
3. 学会等名 第58回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高島浩司, 崎山朋子
2. 発表標題 度数情報だけで再訪性を判断するエージェントのネットワーク探索
3. 学会等名 第58回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 崎山朋子
2. 発表標題 最適なレヴィ運動を維持するためには何をすれば良いのか?
3. 学会等名 2020年度数理生物学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂本悠太, 崎山朋子
2. 発表標題 フェロモン道のリアルな方角は他個体との出会いが紡ぐ
3. 学会等名 第39回日本動物行動学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂本悠太, 崎山朋子
2. 発表標題 蟻道に合流した際, 蟻はどこへ向かって歩きだすのか
3. 学会等名 第21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
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 崎山朋子
2. 発表標題 蟻はピンク色の世界を歩く
3. 学会等名 第14回内部観測研究会(第33回計測自動制御学会SI 部門共創システム部会研究会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 崎山朋子
2. 発表標題 ネットワーク上のタカ・ハトゲームにおけるリンクの多義的解釈が与える影響について
3. 学会等名 第16回 生物数学の理論とその応用 ~ 生命現象の定量的理解に向けて ~
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 崎山朋子
2. 発表標題 蟻の示す複雑なリズムとは?
3. 学会等名 第5回昆虫行動ロボティクス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 崎山朋子
2. 発表標題 Emergence of an Adaptive Random Walk as a Function of Different Resource Distribution
3. 学会等名 2019年度 日本数理生物学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 崎山朋子
2. 発表標題 蟻の形作る時空間パターンに関する研究
3. 学会等名 第4回昆虫行動ロボティクス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 崎山朋子
2. 発表標題 蟻の墓場の形成プロセス.
3. 学会等名 日本動物行動学会第37回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近藤誠人, 崎山朋子, 有菌育生
2. 発表標題 自律性と協調性を兼ね備えた蟻コロニー最適化モデル
3. 学会等名 日本経営工学会2018年春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 崎山朋子
2. 発表標題 蟻の死骸の山の形成プロセスにおける一考察
3. 学会等名 第56回日本生物物理学学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 崎山朋子
2. 発表標題 蟻の探索における臨界的性質の出現について
3. 学会等名 第62回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kotaro Uneme, Tomoko Sakiyama and Ikuo Arizono
2. 発表標題 Investigation on Performance for Solving Asymmetric Traveling Salesman Problem of Ant System Based on Consistency and Discrepancy of Subjective Ranking
3. 学会等名 The 19th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Tomoko Sakiyama	4. 発行年 2020年
2. 出版社 CRC Press	5. 総ページ数 190
3. 書名 Ant Cemeteries as a Cluster or as an Aggregate Pile in Swarm Intelligence: From Social Bacteria to Humans, Edited by Andrew Schumann	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------