

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K06386

研究課題名(和文)アリグモの種多様性を増大させるアリ擬態効果の解明

研究課題名(英文)Ant-mimicking effects increase species diversity in Myrmarachne spiders

研究代表者

橋本 佳明 (Hashimoto, Yoshiaki)

兵庫県立大学・自然・環境科学研究所・特任教授

研究者番号：50254454

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：これまで、ハエトリグモ科アリグモ属の精緻なアリ擬態は捕食者への高い防衛効果のためとされてきた。本研究はアリグモ属のアリ擬態が獲物の捕獲能力を低下させ、植食に食性を転換させていること、アリグモ種が擬態モデルのアリ種の側に留まる習性を有し、アリ種がテリトリー内で独占している蜜腺などを餌源に利用している可能性、さらに、DNA系統解析によって、同じ擬態モデルのアリ種に対する種分化は異なる系統間で繰り返し起こっていることを明らかにした。これらのことから、アリグモ属のアリ擬態は、これまで知られていなかった擬態モデルと共存するための戦略であり、その種多様性を創出する機構になっていると考えた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

擬態は、これまで捕食者に対する防衛戦略として解明が行われてきた。本研究の学術的な意義は、アリグモ属のクモ類の正確なアリ擬態が、その食性を肉食から植食に転換させていることや、捕食者ではなく擬態モデルとの関係の中で進化してきたこと明らかにすることで、擬態研究に生物多様性創出や多種共存機構という新たな研究領域を開いた点にある。また、本研究成果は熱帯林で得られたものであり、その成果は、なぜ熱帯で高い生物多様性が創出され維持されているのかという生物学における主要な課題の解明や、熱帯林の生物多様性保全に貢献できるものである。

研究成果の概要(英文)：The precise ant mimicry of Myrmarachne jumping spiders (Salticidae) has been attributed to their high defensive effectiveness against predators. In this study, we found that the ant mimicry of Myrmarachne spiders reduces their ability to capture prey and shifts their diet to a plant-based source, and that the spider species have the habit of remaining close to their mimetic model ant species, which indicates the possibility of the spider using the nectar glands and other food sources monopolized by the mimetic model ant species in their territory. Furthermore, our DNA phylogenetic analysis revealed that speciation to the same mimetic model ant species occurs repeatedly in different phylogenetic lineages of Myrmarachne jumping spiders. These findings suggest that ant mimicry in Myrmarachne jumping spiders is a strategy for coexistence with mimetic model ants and a mechanism for creating species diversity in the spider genus.

研究分野：多様性生物学

キーワード：アリ擬態 生物多様性創出機構 多種共存機構 熱帯林

1. 研究開始当初の背景

アリ類の種多様性が極めて高い熱帯林では、アリに擬態する生物が数多く見られる。ハエトリグモ科のアリグモ属は、それらの中でも特に高い種多様性を有し、東南アジアの熱帯林だけでも120種以上が知られている。アリに擬態するアリグモ属の高い多様性が、擬態のモデルであるアリ類の高い多様性を鋳型として創出されていることは当然予想される。しかし、これまでのアリ擬態の研究は、その防衛効果の検証など擬態現象そのものに興味注がれてきた。そこで、我々は、東南アジア熱帯林でアリグモ属を対象として、生物多様性創出・維持機構としてのアリ擬態の研究を行ってきた。その結果、アリグモ属では、各種が特定のアリ種に体型、体色、体サイズまでを正確に似せてアリに擬態しており、これは、他のアリ擬態クモ類には見られないアリグモ属の特異性であることがわかった(図1)。さらに、アリグモの分布調査から、アリグモ属各種が擬態のモデルとするアリ種のなわばり内に分布していることも明らかになった。

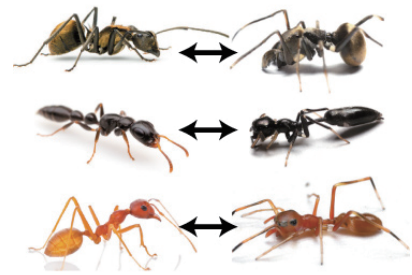


図1. アリグモ属の正確なアリ擬態様式

これまでの擬態研究では、特定のモデル種に正確に似る擬態が進化するのには、捕食者に対する防衛効果を向上させるためだと考えられてきた。しかし、あいまいにアリに似ているクモ類でも十分に防衛効果があることが確かめられている。さらに、アリ類が視覚でアリグモと非擬態クモ類を識別して、自分に擬態するアリグモには攻撃行動を見せないことを観察した研究もある。こうした研究成果も踏まえ、本研究の核心をなす問いとは、アリグモのアリ擬態は、擬態モデルであるアリからの攻撃を回避して、そのなわばり内を採餌場所や生息場所として利用するための擬態ではないかということであり、さらに、そのような特異な擬態を進化させたことが、アリグモの種分化を促進させているのではないかということである。

2. 研究の目的

我々の研究目的は、アリグモ属の正確なアリ擬態には、1) 非擬態ハエトリグモからの形態変化によるコストが伴うが、2) 擬態モデル・アリ種のなわばり内を生息や採餌場所として利用できるようになる利益が有り、3) アリグモがアリのなわばり内を生息場所とすることが、その生殖隔離機構として多様化を促進しているという仮説を検証することである。

3. 研究の方法

1) アリグモ属の正確なアリ擬態が課すコストの解明

マレーシア領ボルネオ島やタイ国で集めたアリグモ属7種と非擬態ハエトリグモの捕獲能力を調べるために、体長2mmほどのハエを獲物として与え、それぞれのクモ個体の捕食行動をビデオカメラで記録して、獲物を捕獲するために跳躍してきた距離や捕獲成功率を計測した。次に、捕食行動を観察したアリグモ属7種と非擬態ハエトリグモの形態を幾何学的形態測定法の手法で計測し、それらの形態の差異や、形態と跳躍距離や捕獲成功率の関係を解析した。幾何学的形態測定法は相同な器官の位置をランドマークにして、それらの位置変化に基づいて形態の変化を数値化する手法である。この方法は、生物間の形態差を定量的に記述できるだけでなく、跳躍距離のような数値データと形態の相関関係を統計的に解析することを可能にするものである。形態の進化や機能を調べるのに優れた方法であるにも関わらず、これまで、擬態の研究にあまり使われてこなかった。本研究は、幾何学的形態測定法を、世界に先駆けて擬態研究に用いた。

2) アリグモ属の擬態モデル識別実験

透明なプラスチック板の仕切りで2分した飼育容器の片側にアリグモ属種を入れ、もう片方に、各々、アリグモ属種の擬態モデル・アリ種、非擬態モデル・アリ種、非擬態ハエトリグモを入れて、視覚による対面行動の違いをビデオカメラで記録した。動画の解析には、マーカーレス動画で観察対象の位置や姿勢推定ができるソフトDeepLabCutを使用した。DeepLabCutはディープニューラルネットワークを使用した転移学習を用いて、各ビデオフレームの動物の体の各部位を正確に特定し、高い精度で各部位をx座標とy座標の位置データ化できる。ついで、DeepLabCutから得られた各部位の座標データ間の位置関係や、時間の経過とともに位置関係がどのように変化するかに基づいて、UMAP法等による行動の分類を行い、行動の種類や各行動を示した時間などを解析した。行動の分類にはB-soidソフトウェアを使用した。なお、新型コロナ禍の影響を受けて、新たに海外での調査やデータの収集が完全に実施できなかったため、本研究では、これまでに動画データ収集できたツムギアリ擬態のアリグモ属種 (*Myrmarachne plataleoides*) と、その擬態モデルのツムギアリ、非擬態モデルのトゲアリ、非擬態ハエトリグモでの解析を行った。

3) アリグモ属の系統解析

これまでに各地の熱帯林で採集したアリグモのサンプルを用いて、アリグモ属の分子系統解析を行い、その種分岐パターンと擬態モデルの選択が合致するのかを調べた。DNA抽出は10%Chelex-TE溶液を用いたキレック法でおこない、ミトコンドリアDNAのCOI (約1000 bp) と核の16SND1, 28S rRNA (約800 bp) を、それぞれ増幅させ、シーケンスした。プライマーにはハエトリグモ科の分子系統研究で使われているプライマーコンビネーションC1-J-1718/C1-N-2776 (mtCOI) と28S0/28SC (28SrRNA) を用い、得られた配列はアライメント後、最尤法、ベイズ法で系統推定をおこなった。

4. 研究成果

1) アリグモ属の正確なアリ擬態が課すコストの解明

非擬態のハエトリグモでは、その体長の3倍ほどの距離を跳躍して獲物を捕獲することができるのに対し、アリグモ属7種では、最大で体長と同じぐらいの長さしか跳躍できず、中には、ほとんど跳躍できなくなっているものもいることがわかった。また、その跳躍力の低下に伴って、アリグモ属では獲物の捕獲成功率も大きく減少していることも明らかになった。さらに、幾何学的形態測定法による解析からは、アリグモ属に見られる跳躍距離や捕獲成功率の低下が、どれだけ細長い体型をしているか、どれだけ強く括れた体型をしているかと強く関係していることが示された(図2)。このことから、どのアリ種に擬態するかによって、アリグモ属が受ける捕獲能力への制約が異なっていることも明らかになった。ハエトリグモ科のクモ類は、捕獲用の網を張らず、歩き回りながら獲物を探し、見つけた獲物をジャンプして捕獲する徘徊性クモ類である。その跳躍力は、クモ類が脚に大きな伸筋を持たないため、体液を腹部から頭胸部に送って圧縮し、その圧力を脚に伝えることで作り出されている。アリグモ属各種が擬態モデル・アリ種に似せて、頭部、胸部、腹部の3箇所に強い括れを作り、さらに、胸部と腹部が腹柄節と呼ばれる細く括れた節で繋がっているアリの形態を真似たことで、アリグモ属は跳躍力と捕獲能力に大きな制約を受けていると考えられる。本研究で、アリグモ属の正確なアリ擬態が、その生存や繁殖に大きなコストとなっていることを世界で初めて明らかにすることができた。なお、安定同位体を用いた食性分析からも、アリグモ属が肉食から植物由来の栄養源に食性を転換していることが確かめられている。

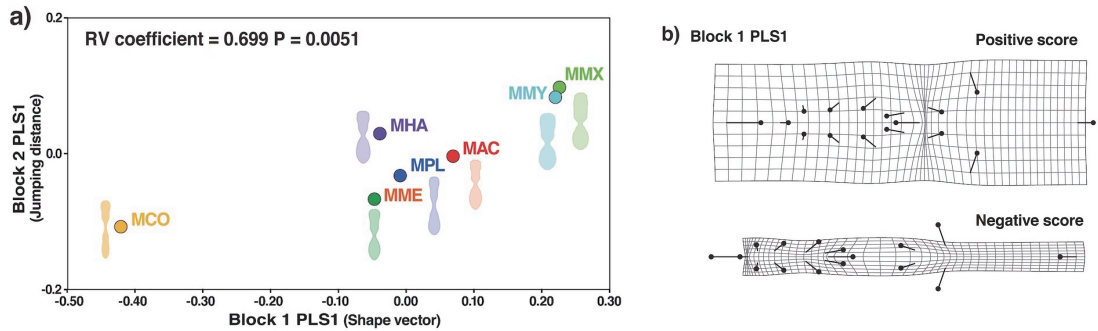


図2. a) アリグモ属各種の体型と跳躍距離の関係。b) アリグモ属の体型変化の幾何学的形態分析の結果。

2) アリグモ属の擬態モデル識別能力の解明

アリグモ属は擬態モデルで無いアリ種や非擬態のハエトリグモにはアリの攻撃姿勢を見せて威嚇したり、逃避行動を示した。一方、擬態モデルのアリ種には威嚇行動や逃避行動は示さず、常に、一定の距離を維持しつつアリの行動を観察する姿勢を示した(図3)。さらに、擬態モデルのアリ種はアリグモ属種に対して攻撃も回避行動も示さないのに対して、非擬態モデルのアリ種ではアリグモ属種に対して静止する行動が多く観察された(これは、ツムギアリが他種のアリに対して強い攻撃性を有するアリ種であり、観察実験でツムギアリ擬態アリグモ種を対象としたためであり、観察実験でツムギアリ擬態アリグモ種を対象としたためであると考えられる)。また、非擬態のハエトリグモはアリグモ属種との距離が近づくと、逃避行動を取ることも観察された。本観察実験は、観察対象を透明なプラスチックの仕切り板を挟んで対面させており、触角などでの接触はできない環境で行っている。このことから、アリグモ属は視覚で擬態モデルと非擬態モデルのアリ種を識別でき、行動を変化させていると考えられる。このようなアリグモ属の能力は、世界で初めて示されたものである。さらに、アリ種も視覚的にアリグモ属種の形態を識別しており、アリグモ属種は擬態モデルのアリ種からは攻撃を回避できる可能性が示唆された。なお、予備実験的に、アリグモ属の体表ワックス臭の分析を行っており、その結果からは、アリグモ属の体表臭はアリ類に比べて単純で、アリ類は触角の匂い情報では対象を生物とは識別できないと推測されている。本研究によって、アリグモ属は、その正確なアリ擬態によって擬態モデル・アリ種からの攻撃を回避しつつ、アリ種の縄張り内に共存できる可能性が明らかになった。観察実験方法や解析方法は確立できたので、今後、観察するアリグモ属やアリ類の種を増やして、より多くの検証を進めていく計画である。

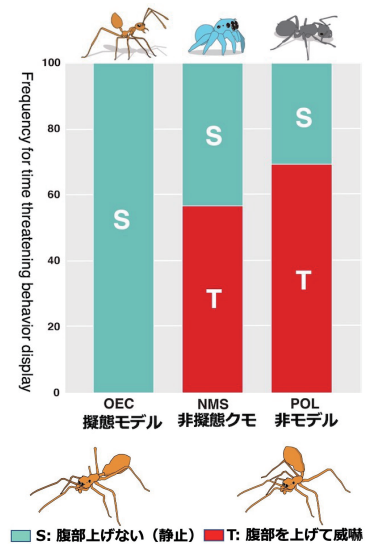


図3. ツムギアリ擬態アリグモ種の擬態モデル・アリ種、非擬態モデル種、非擬態ハエトリグモに対する威嚇行動と静止行動の比率

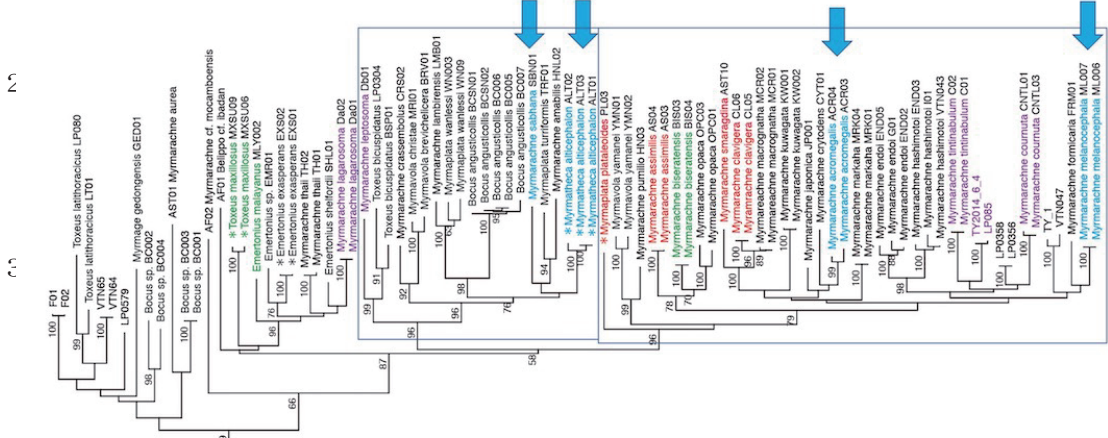
4.3 研究開始当初の背景

1. アリ類の種多様性や生態の理解を深めるには、アリ類の分子系統樹から特定のアリ種に擬態するアリグモ属の系統関係を解析し、アリ類の種多様性をより正確に把握し、アリ類の生態的適応や進化的関係を明らかにすることが重要である。本研究では、アリ類の種多様性をより正確に把握し、アリ類の生態的適応や進化的関係を明らかにするために、アリ類の分子系統樹から特定のアリ種に擬態するアリグモ属の系統関係を解析し、アリ類の種多様性をより正確に把握し、アリ類の生態的適応や進化的関係を明らかにすることを目的とした。

2. 成虫期の形態的特徴や幼虫期の形態的特徴を比較し、アリ類の種多様性をより正確に把握し、アリ類の生態的適応や進化的関係を明らかにするために、アリ類の分子系統樹から特定のアリ種に擬態するアリグモ属の系統関係を解析し、アリ類の種多様性をより正確に把握し、アリ類の生態的適応や進化的関係を明らかにすることを目的とした。

3. 本研究の目的は、アリ類の種多様性をより正確に把握し、アリ類の生態的適応や進化的関係を明らかにするために、アリ類の分子系統樹から特定のアリ種に擬態するアリグモ属の系統関係を解析し、アリ類の種多様性をより正確に把握し、アリ類の生態的適応や進化的関係を明らかにすることを目的とした。

4 オオアリ擬態



アリ類の種多様性をより正確に把握し、アリ類の生態的適応や進化的関係を明らかにするために、アリ類の分子系統樹から特定のアリ種に擬態するアリグモ属の系統関係を解析し、アリ類の種多様性をより正確に把握し、アリ類の生態的適応や進化的関係を明らかにすることを目的とした。

アリ類の種多様性をより正確に把握し、アリ類の生態的適応や進化的関係を明らかにするために、アリ類の分子系統樹から特定のアリ種に擬態するアリグモ属の系統関係を解析し、アリ類の種多様性をより正確に把握し、アリ類の生態的適応や進化的関係を明らかにすることを目的とした。

アリ類の種多様性をより正確に把握し、アリ類の生態的適応や進化的関係を明らかにするために、アリ類の分子系統樹から特定のアリ種に擬態するアリグモ属の系統関係を解析し、アリ類の種多様性をより正確に把握し、アリ類の生態的適応や進化的関係を明らかにすることを目的とした。

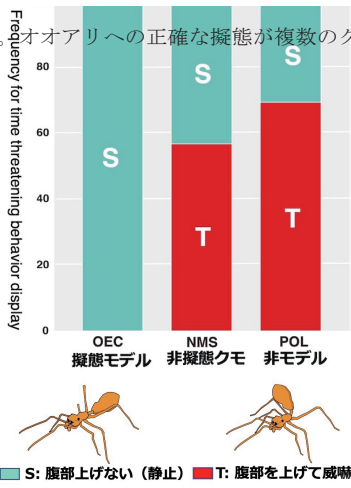


図3. ツムギアリ擬態アリグモ種の擬態モデル・アリ種、非擬態モデル種、非擬態ハエトリグモに対する威嚇行動と静止行動の比率

アリ類の種多様性をより正確に把握し、アリ類の生態的適応や進化的関係を明らかにするために、アリ類の分子系統樹から特定のアリ種に擬態するアリグモ属の系統関係を解析し、アリ類の種多様性をより正確に把握し、アリ類の生態的適応や進化的関係を明らかにすることを目的とした。

アリ類の種多様性をより正確に把握し、アリ類の生態的適応や進化的関係を明らかにするために、アリ類の分子系統樹から特定のアリ種に擬態するアリグモ属の系統関係を解析し、アリ類の種多様性をより正確に把握し、アリ類の生態的適応や進化的関係を明らかにすることを目的とした。

アリ類の種多様性をより正確に把握し、アリ類の生態的適応や進化的関係を明らかにするために、アリ類の分子系統樹から特定のアリ種に擬態するアリグモ属の系統関係を解析し、アリ類の種多様性をより正確に把握し、アリ類の生態的適応や進化的関係を明らかにすることを目的とした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Hashimoto Yoshiaki, Endo Tomoji, Yamasaki Takeshi, Hyodo Fujio, Itioka Takao	4. 巻 10
2. 論文標題 Constraints on the jumping and prey-capture abilities of ant-mimicking spiders (Salticidae, Salticinae, Myrmarachne)	5. 発行年 2020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/s41598-020-75010-y	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
1. 著者名 Yamasaki Takeshi, Hyodo Fujio, Itioka Takao, Hashimoto Yoshiaki, Endo Tomoji, Meleng Paulus	4. 巻 69
2. 論文標題 A new corinnid species of the genus Aetius Pickard-Cambridge (Araneae: Corinnidae) from Sarawak, Borneo	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Acta Arachnologica	6. 最初と最後の頁 105 ~ 108
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2476/asjaa.69.105	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
1. 著者名 Yamasaki Takeshi, Hashimoto Yoshiaki, Endo Tomoji, Hyodo Fujio, Takao Itioka, Meleng Paulus	4. 巻 69
2. 論文標題 A new species of the genus Agorius (Araneae: Salticidae) from Saraw	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Acta Arachnologica	6. 最初と最後の頁 37 ~ 41
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2476/asjaa.69.37	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
1. 著者名 Yamasaki, T., Hashimoto, Y., Endo, T., Hyodo, F., Itioka, T. & Meleng, P.	4. 巻 69
2. 論文標題 A new species of the genus Agorius (Araneae: Salticidae) from Sarawak, Borneo.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Acta Arachnologica	6. 最初と最後の頁 Online First
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Stable isotope analysis reveals the importance of plant based diets for tropical ant mimicking spiders	4. 巻 21
2. 論文標題 Stable isotope analysis reveals the importance of plant based diets for tropical ant mimicking spiders	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Entomological Science	6. 最初と最後の頁 461-468
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ens.12331	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

1. 著者名 Takeshi Yamasaki, Yoshiaki Hashimoto, Tomoji Endo, Fujio Hyodo, Takao Itioka, Paulus Meleng	4. 巻 4521
2. 論文標題 New species of the ant-mimicking genus Myrmarachne MacLeay, 1839 (Araneae: Salticidae) from Sarawak, Borneo.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Zootaxa	6. 最初と最後の頁 335-356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11646/zootaxa.4521.3.2	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

1. 著者名 Seiki YAMANE, Hiroshi O TANAKA, Yoshiaki HASHIMOTO, Mizue OHASHI, Takao ITIOKA	4. 巻 30
2. 論文標題 A list of ants from Lambir Hills National Park and its vicinity, with their biological information: Part I. Subfamilies Myrmicinae and Pseudomyrmecinae	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Contributions from the Biological Laboratory Kyoto University	6. 最初と最後の頁 173-235
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 橋本佳明, 遠藤知二, 兵藤不二夫, 市岡孝朗, 山崎健史
2. 発表標題 アリグモはモデル・アリを見分けるか?
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会 (2020年3月、名古屋)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 兵藤不二夫（岡山大），山崎健史（首都大），岩浅拓也（京大），市岡孝朗（京大），遠藤知二（神戸女学院大），橋本佳明（兵庫県立大）
2. 発表標題 安定同位体が明らかにする熱帯のアリグモにおける植物性食物の重要性
3. 学会等名 日本生態学会第66回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋本佳明
2. 発表標題 アリ類の多様性はアリグモ属の多様性の鋳型となっているか アリグモが、なぜアリ擬態するのかを考察する
3. 学会等名 日本蜘蛛学会 第 53 回大会シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋本佳明
2. 発表標題 アリグモはツンデレかー機械学習で擬態者の擬態モデルに対する行動変化を解析する
3. 学会等名 第69回日本生態学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山崎健史
2. 発表標題 アリグモ属の系統分類と擬態モデル選択の収斂進化
3. 学会等名 日本蜘蛛学会 第 53 回大会シンポジウム
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔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	市岡 孝朗 (Iioka Takao) (40252283)	京都大学・人間・環境学研究科・教授 (14301)	
研究分担者	遠藤 知二 (Endo Tomoji) (60289030)	神戸女学院大学・人間科学部・教授 (34510)	
研究分担者	兵藤 不二夫 (Hyodo Fjio) (70435535)	岡山大学・環境生命科学研究所・准教授 (15301)	
研究分担者	山崎 健史 (Yamasaki Takeshi) (90746786)	兵庫県立大学・自然・環境科学研究所・准教授 (24506)	

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
---------	---------