

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：24506

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K16216

研究課題名（和文）餌資源の分割によるハエトリグモ類の多様性創出と維持

研究課題名（英文）Diversification of jumping spiders and its maintenance through food resource partitioning

研究代表者

山崎 健史（Yamasaki, Takeshi）

兵庫県立大学・自然・環境科学研究所・准教授

研究者番号：90746786

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、温帯から亜熱帯地域でのハエトリグモ類の栄養段階と食性を調べることを目的として行った。栄養段階を明らかにするために、採集されたハエトリグモ各種について窒素と炭素の安定同位体比分析を行った。食性を明らかにするため、採集されたハエトリグモ類の胃の内容物のメタバーコーディングを行い、餌メニューを調べた。その結果、温帯から熱帯に生息するハエトリグモ類では、熱帯で見られるような植物食傾向を示す種は出現せず、すべて雑食から肉食傾向のジェネラルな捕食者であった。また、アリ擬態のハエトリグモ類の系統上では、植物食傾向の種は複数回独立に進化してきたことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、なぜ熱帯は生物種の数が多いのかという生物地理学的な大きな疑問に寄与するものである。これまで、生物分類群ごとに様々な仮説が提唱されており、本研究の成果は、餌分割という視点から生物種が多様化して、その多様性を維持している機構にひとつの説明を与えるものである。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aimed to investigate the trophic levels and feeding habits of jumping spiders in temperate to subtropical regions. To elucidate the trophic levels, we conducted stable isotope ratio analysis of nitrogen and carbon on various species of collected jumping spiders. To determine their feeding habits, we performed gut content metabarcoding on the collected jumping spiders to examine their dietary composition. The results showed that no species in the temperate to tropical regions exhibited herbivorous tendencies as seen in tropical regions; instead, all were generalist predators with omnivorous to carnivorous tendencies. Additionally, it was revealed that herbivorous tendencies had evolved independently multiple times within the phylogeny of ant-mimicking jumping spiders.

研究分野：系統分類学

キーワード：ハエトリグモ 食性 多様性 アリ擬態

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

クモ類の中で最も種多様性の高いハエトリグモ科は、高い視覚が交尾行動や捕食様式の多様化をもたらしたと考えられており、同時に種分化の重要な引き金でもであるとされている。しかし、近年では、ハエトリグモ類の植物食の一面も明らかになり、単に捕食者と考えられてきたハエトリグモ類にも様々な栄養段階があり、餌資源の分割も、多様性の創出・維持機構に寄与している可能性が考えられる。本研究では、熱帯におけるハエトリグモ類の多様化に、餌資源の分割があると仮説を立て、ハエトリグモ類の(1)網羅的な栄養段階の解明と(2)餌資源分割の系統的背景の解明を目的として行う。

(1) 食性の違いが、ハエトリグモ類の多様化を促進させたのか？

申請者らによる安定同位体比分析による研究では、アリ擬態クモ類(ハエトリグモ科)は種によって、植物食から肉食まで幅があることが分かった(Hyodo et al. 2018)。特に擬態が種特異化したアリ擬態クモ種で植物食の傾向が強く、擬態による形態的な改変が、食性の変化に影響した可能性を示唆している(例えば、アリに似せるために細くなった脚が、ジャンプ力を減少させ、餌の選好性が動き回る昆虫類からカイガラムシなどが出す植物由来の甘露にシフトした)。逆に、何かのきっかけで、同種内に餌選好性の違いが生じた場合、それはニッチの違いとして現れてきて、最終的に種分化を引き起こす可能性が十分に考えられる。Hyodo et al. (2018)では、アリ擬態クモ類以外のハエトリグモを Non ant-mimicking jumping spiders と一括りにしたが、実はハエトリグモ類全般で見ると、アリ専食、クモ専食など、さらに広い食性を持つことが知られている。昆虫類の多様化が、口器の多様化による種々の餌資源が利用可能になったことによって引き起こされたのと同じように、ハエトリグモ科の多様化にも、利用できる餌資源の多様化が重要な役割を果たしているのではないかと考えている。

(2) 餌資源への選好性は、どのように進化してきたのだろうか？

現在ハエトリグモ類に見られる食性タイプは、以下の4つに大別できる：ジェネラルな肉食、クモ専食、アリ専食、植物食(または蜜食)。しかし、実際は、クリアに区別できるわけではなく、「植物食寄り」や「アリ専食だが他の虫も食べる」など、柔軟な食性を持つものが大部分である。これらの専食性や柔軟性がどのように進化してきたのか系統樹上で俯瞰することで、食性の進化プロセスとそれに伴う種分化プロセスを検討することができる。

2. 研究の目的

餌資源の分割が、ハエトリグモ類の多様化を促進させたことを明らかにするために、ハエトリグモ相(多様性)の異なる地域間でハエトリグモ類の栄養段階の幅を比較する。多様性の低い地域では栄養段階の幅が狭く、多様性の高い地域では栄養段階の幅が広いことが予想される。そして、餌資源の分割の進化プロセスを推定するため、採集地で得られたハエトリグモ類の系統樹解析を行う。

3. 研究の方法

調査地：すでに申請者らがハエトリグモ類のインベントリ調査を行い、大部分の種の同定が可能な以下の4つの地域を調査地とした。

①松木日向緑地(東京都立大内)、②台中市の二次林(台湾)、③カセサート公園(タイ)、④ランビルヒルズ国立公園(マレーシア)

サンプリング：

樹上や草本上のハエトリグモ類を採集する。採集した個体は、安定低同位体分析用に数本の脚を抜き、ガラス管に保管。残りの体は、DNA分析や形態観察のために99%エタノールに保存する。また、ハエトリグモ類が採集されたハビタットからは、餌候補となる昆虫・クモ類と、炭素・窒素量の基準となる植物の葉を、ハエトリサンプルごとに採集する。安定同位体分析：兵藤不二夫氏(岡山大)の協力のもと、岡山大に設置されている連続フロー型安定同位体比質量分析計を使用する。サンプル間のC/N量比較や、調査地間でのデータ比較には、JMPソフトウェアを用いる。

DNA分析と系統解析：

ミトコンドリアDNAの16S rRNAからND1領域、COI領域と、核DNAの28S rRNA領域、18S rRNA領域の遺伝子マーカーを用いて系統推定を行う。得られたシーケンスデータは、最尤法によって系統解析を行なった。

ハエトリグモ類の胃内容物の解析：

台湾にて個体数が多く採集できた *Myramrachne maxillosa* (= *Toxeus maxillosus*) と *Myrmarachne*

japonica について、胃内容物のメタバーコーディング解析を行なった。Suzuki, Baba & Toju (2023) で使用されている「Chiar16SF / Chiar16SR」という PCR プライマーを使用し、16SrRNA 配列を読んだ。得られた配列を Blast 検索し、餌生物を特定した。

4. 研究成果

(1) 温帯～亜熱帯地域でのハエトリグモ類の栄養段階

当初、熱帯に比べて、種数のそれほど多くない温帯から亜熱帯地域では、ハエトリグモ類の餌分割はそれほど厳密に分割されていないと予想していた。それは、種数が少ないため、多種共存のために餌分割が必要ないと思われたからである。

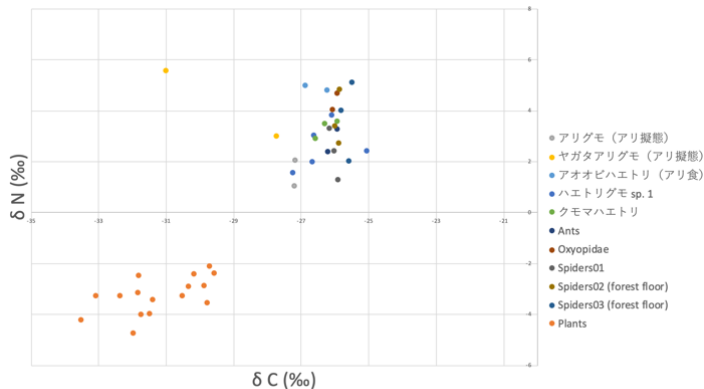


図 1. 二次林におけるハエトリグモ類の窒素と炭素の安定同位体比 (東京都立大内) .

東京都の雑木林縁部でのハエトリグモ調査の結果、アリ擬態、アリ食のハエトリグモ類は、通常の肉食性ハエトリグモ類と同じくらいの δN 値を示し、栄養段階からはハエトリグモ全体での餌分割の傾向が見られなかった。ただ、餌メニューの違いはあるかもしれない、今後、胃内容物のメタバーコーディングも合わせて調べる必要がある。

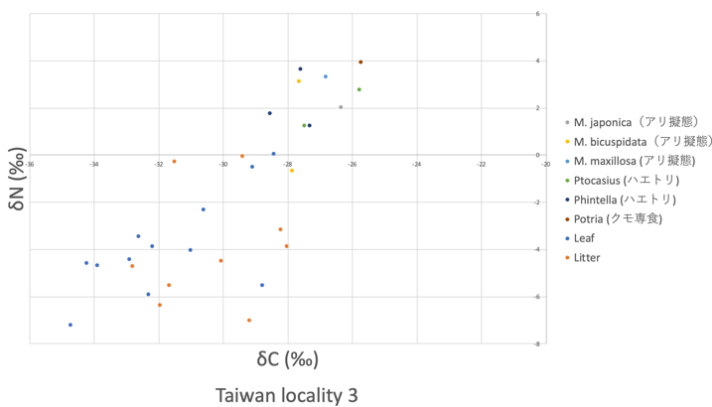


図 2. 台湾におけるハエトリグモ類の窒素と炭素の安定同位体比 (地点 3) .

亜熱帯地域に属する台湾の二次林での調査では、日本と共通種のアリグモ (*M. japonica*) が採集されたが、栄養段階の基盤となる植物の δN 値と比較しても、植物食の傾向はなく、植物食者を捕食する肉食者に相当する栄養段階に位置することが分かった (図 1, 2, 3)。我々のマレーシアでの調査結果 (Hyodo et al. 2018) では、*M. japonica* が出現しないため、本種が、地域によって、餌メニューや栄養段階に違いがあるのかどうかは分からなかった。一方、

Myrmarachne maxillosa (= *Toxeus maxillosus*) は、Hyodo et al. (2018) において、熱帯地域であるタイにて出現し、解析済みである。この結果と比較すると、今回の結果もタイでの結果でも、雑食～肉食者の栄養段階に位置し、亜熱帯～熱帯間での栄養段階の違いは見られなかった。

また、台湾では、クモ専食のケアシハエトリグモ属 (*Portia*) の 1 種が一個体採集できた (図 2)。同じ調査地内で採集されたハエトリグモ類の中では、高い δN 値を示しているが 1 個体のため、クモ専食という食性がどのような栄養段階を占めるのかは明確にはならなかった。

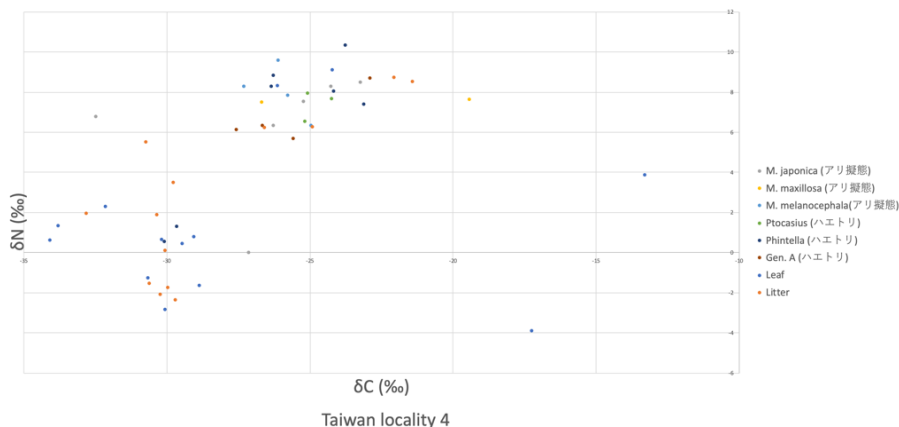


図 3. 台湾におけるハエトリグモ類の窒素と炭素の安定同位体比 (地点 4) .

(2) アリ擬態クモ類の胃内容物の分析

台湾と日本にて共通して採集できた *M. japonica* (アリグモ) と台湾とタイにて共通して採集された *M. maxillosa* (= *Toxeus maillosus*) について、胃内容物のメタバーコーディングを予備的実験として行った。*Myrmarachne japonica* からは、コカゲロウ属の1種とクロツヤチビカスミカメ属の1種が記録された。また、*M. maxillosa* (= *Toxeus maillosus*) からは、ハエトリグモ科の1種、コカゲロウ科のフタモンコカゲロウが記録された。予備的ではあるが、いずれのアリ擬態クモ種も、植物食から肉食の餌を利用していることが分かり、雑食的な栄養段階を示す点とは矛盾しない。しかし、胃内容物を調べた個体数、かつ胃から餌生物が検出できた個体は、非常に少なく (*M. japonica* n=3 ; *M. maxillosa* n=2)、さらなる追加個体の分析が必要である。

(3) アリ擬態クモ類系統内での食性の進化

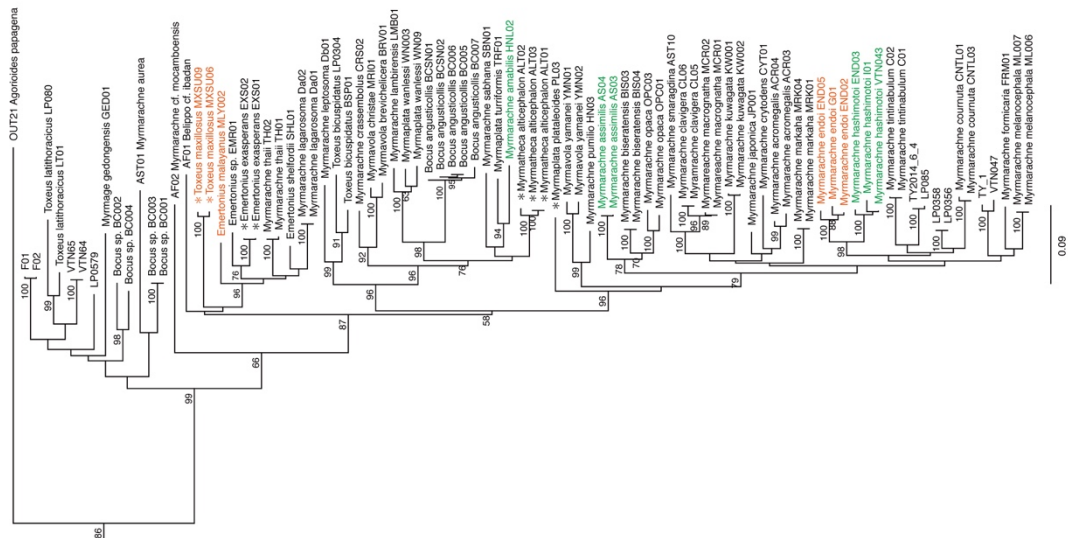


図 4. アリ擬態クモ (ハエトリグモ科) の系統関係と植物食傾向を持つ種の系統的位置。
 緑色は、植物食傾向をもつ種 (Hyodo et al. 2018 より)、オレンジ色は、雑食傾向を示す種。

アリ擬態クモ類は、アリへの形態的な類似性を獲得するため、脚が細くなり、頭胸部がくびれる。そのため、通常のアリ擬態クモ類と比べて、ジャンプ力が低下していることが分かっている。そのため、活発に動き回る餌生物を捕食するより、植物食 (蜜や甘露) の傾向が強いことが一部の種について明らかになっている。この植物食傾向を、アリ擬態クモ類の系統のなかで俯瞰したものが本結果である (図 4)。また、アリ擬態クモ類の網羅的な系統関係や各種の食性をすべて明らかにできていないが、植物食傾向があるとされる *Myrmarachne amabilis* が属するクレード、同じく植物食傾向の *M. assimilis* の属するクレードが異なることが分かる。また、雑食傾向の強い *Myrmarachne endoi* と植物食傾向の *M. hashimotoi* は、非常に近い近縁種であることが分かる。このことから、系統上は、植物食傾向は多系統的に進化してきたものと推測される。しかし、同種内でも生息環境が異なれば、食性が変わる可能性は検証できておらず、今後は、単一種に絞った食性分析が必要であると考えている。

結論

- ・熱帯地域では、植物食傾向のアリ擬態クモ類が出現するが、亜熱帯から温帯では雑食〜肉食のアリ擬態クモのみが出現する。しかし、本研究に限られたサンプルのみの結果なので、より詳しく調べる必要がある。本研究のみで言えば、熱帯におけるアリ擬態クモ科の多様化と多種共存には、餌分割が寄与していると言える。

- ・本研究では、アリ擬態クモ科のアリ擬態グループの系統解析のみにとどまったが、そのなかでも植物食傾向は、いくつかのクレードで独立に進化してきたことが示唆された。今後、アリ擬態クモ科全体を網羅的に調べ、本研究では、議論するには十分なサンプル数が集まらなかったアリ専食、クモ専食の系統進化も調べる必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 YAMASAKI TAKESHI, HASHIMOTO YOSHIAKI, ENDO TOMOJI, HYODO FUJIO, ITIOKA TAKAO, MOHAMED MARYATI, MELENG PAULUS	4. 巻 5343
2. 論文標題 Taxonomic study of Bornean species of Utivarachna Kishida, 1940 (Araneae: Trachelidae), with the description of a new species	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Zootaxa	6. 最初と最後の頁 55 ~ 73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11646/zootaxa.5343.1.3	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 Takeshi Yamasaki, Christine Rollard	4. 巻 71
2. 論文標題 Redescription of Sphecotypus taprobanicus Simon 1897 (Araneae: Corinnidae)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Arachnologica	6. 最初と最後の頁 49-51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2476/asjaa.71.49	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 Ballarin, F., Yamasaki, T. & Su, Y.-C.	4. 巻 4927
2. 論文標題 A survey on poorly-known rainforest litter-dwelling spiders of Orchid Island (Lanyu, Taiwan) with the description of a new species (Araneae: Linyphiidae, Tetrablemmidae, and Theridiosomatidae).	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Zootaxa	6. 最初と最後の頁 197-208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11646/zootaxa.4927.2.2	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 Ballarin, F. & Yamasaki, T.	4. 巻 733
2. 論文標題 Nihonella gen. nov., a new troglolytic genus of dwarf spiders from Japan with discussion on its phylogenetic position within the subfamily Erigoninae (Araneae, Linyphiidae).	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 European Journal of Taxonomy	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5852/ejt.2021.733.1215	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, 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 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

[学会発表] 計4件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 山崎健史
2. 発表標題 ハエトリグモ科における属のタイプ種の再検討 カラスハエトリグモ属とムツボシハエトリグモ属
3. 学会等名 日本蜘蛛学会第55回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yamasaki, T.
2. 発表標題 Diversity of ant-mimicking spiders
3. 学会等名 The 3rd International Conference on Biology, Science and Education (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021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 第53回日本蜘蛛学会大会シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎健史
2. 発表標題 ヤガタアリグモの正体について
3. 学会等名 日本蜘蛛学会第52回大会（東海大学，オンライン）
4. 発表年 2020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
研究協力者	兵藤 不二夫 (Hyodo Fujio)	岡山大学	安定同位体比分析への協力
研究協力者	橋本 佳明 (Hashimoto Yoshiaki)	兵庫県立大学	マレーシア、タイでの結果の提供
研究協力者	市岡 孝朗 (Itioka Takao)	京都大学	マレーシア、タイでの結果の提供

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	遠藤 知二 (Endo Tomoji)	神戸女学院大学	マレーシア、タイでの結果の提供
研究協力者	漢字表記なし 漢字表記なし (Ballarin Francesco)	東京都立大学	採集調査の補助

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			
マレーシア	Forest Department Sarawak			
台湾	国立中興大学	国立彰化師範大学		