

クスノキにおける香りを介した昆虫-植物間コミュニケーション Communication between plants and insects via the (E,E)-alpha-farnesene in Camphor tree

高田晶帆 福岡亜美
Takata Akiho Fukuoka Ami

Our research suggested the high possibility that the scent which is emitted when moth larvae eat leaves attracts parasitic wasps. From our analysis of gas component, (E,E)-alpha-farnesene was detected around the leaves moth larvae(Gelechiidae) had eaten. We found that emitted scent varies according to the kinds of larvae.

1. はじめに

熊本県の県木であるクスノキ (*Cinnamomum camphora*) には、樟脳(C₁₀H₁₆O)という二環性モノテルペンケトン的一种でカンフルと呼ばれる防虫性の揮発成分が含まれており、従来から衣類筆筒の材料として使われてきた。では、本当にクスノキには虫は寄り付かないのかということを確認するため観察した結果、実際には様々な種類の虫が生息していることがわかった。確認した虫の多くが自ら吐いた糸で2枚~4枚の葉を重ね合わせてより合わせており、葉と葉の間で身を潜めながら葉を摂食していた。私たちは虫によって重ねられたこの葉の構造物をシェルターと名付けた。(図1)



図1 クスノキのシェルター

クスノキが植食者に寄生されると、シェルター内の植食者の姿は見えないのにも関わらずその植食者の天敵が訪れることと、クスノキは揮発性成分を放出するということから、私たちは植物がその植食者の天敵となる捕食者を誘引する物質を放出するのではないかと予測した。その揮発成分を放出することでクスノキは自らを防衛しており、植物-植食者間、植食者-捕食者間に見られる相互作用の関係がクスノキの香り成分においても成り立っているのではないかと考えた。

本研究ではクスノキを主体として様々な虫や揮発成分について調査を行い、揮発成分が及ぼす植物と虫の関係について考察した。

2. クスノキに生息する虫の調査

2(1) 方法

クスノキからシェルターを採集し、シェルター内にいた虫を観察・同定する。シェルター内に幼虫がいた場合はピーカー内で飼育する。調査は2017年5月18日~2018年6月14日の間行った。

2(2) 結果

クスノキに生息していた昆虫の種数は表1の通りとなった。

クモ目	6種
アザミウマ目	2種
半翅目(カメムシ目)	2種
多足類	1種
鱗翅目(チョウ目)	3種
双翅目(ハエ目)	1種
膜翅目(ハチ目)	2種

表1 クスノキに生息する昆虫の種数

(1) クモ目

ア. カラスハエトリ *Rhene spider*(ハエトリグモ科)



計1個体

イ. マダラフクログモ *Clubiona deletrix*(フクログモ科)



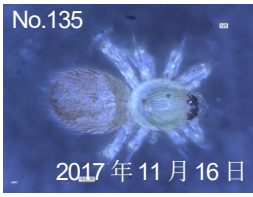
計2個体

ウ. 未同定(フクログモ科)



計2個体

エ. 未同定(フクログモ科)



計13個体

オ. 未同定(サラグモ科)



計2個体

カ. 未同定



計1個体

(2) アザミウマ目

ア. クスクダアザミウマ *Liothrips floridensis*

成虫



計94個体

蛹



計2個体

幼虫



計1個体

イ. 未同定(アザミウマ目)



計2個体

(3) 半翅目(カメムシ目)

ア. 未同定(キジラミ科)



計1個体

イ. 未同定



計2個体

(4) 多足類

ア. ムカデ



2017年11月7日

計1個体

(5) 鱗翅目(チョウ目), 双翅目(ハエ目), 膜翅目(ハチ目)

ア. チャハマキ *Homona magnanima* (ハマキガ科)



2017年6月1日



2017年6月15日

計4個体

イ. ビロードハマキ *Cerace xanthocosma* Diakonoff



2017年5月31日



2017年6月16日

計1個体

ウ. 未同定(キバガ類)

図2の幼虫はキバガ類の幼虫であるが、キバガの成虫羽化することなく、繭から、寄生バチや寄生バエが現れるものがあった。



図2 キバガ類の幼虫

ウ-1 キバガの成虫



計4個体

ウ-2 キイロコウラコマユバチ



計12個体

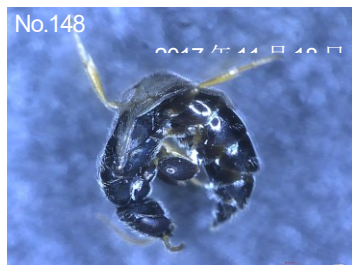
ウ-3 ヒメキイロコウラコマユバチ



計1個体

クスノキの葉の周辺を飛んでいたヒメキイロコウラコマユバチも2個体確認している。

ウ-4 未同定(寄生バチ)



計2個体

2(3) 考察

クスノキにおいて幼虫やクスクダアザミウマなどの植食性の虫が多く確認された一方、クモなどの肉食性の虫も数個体確認されたことから特殊な食物連鎖が起こっていると考えられる。

シェルターを観察する季節によって葉の状態や生息する虫の種類は異なり、寄生される虫も寄生する虫も時期で変わる。

また、発見したシェルターはすべて簡単には剥がれないほどしっかりと糸で形成されていたことから、シェルターを形成したのはガ類の幼虫であると考えられる(クモが出現した葉は定義したシェルターとは異なる)。

ガ類の幼虫を生育させたところ、繭から寄生バチや寄生バエが多く出現したことから、多くの幼虫はシェルター内で生息している間に寄生されたと考えられる。私たちはこの現象に着目し、文献を調査したところ、同じような現象がリママメで確認されていることがわかった。また、リママメではヨトウガの幼虫に食害されたリママメの葉から、ヨトウガの幼虫の天敵である寄生バチや捕食性ダニを誘引する揮発成分が放出されていることが分かっている。

クスノキにおいて、幼虫から寄生バチが出現することはあり得るのだが、シェルターの中にいる幼虫は外から見ることはできず、幼虫の天敵である寄生バチは幼虫を視覚的に捉えることはできない。そのため私たちは、クスノキと幼虫と寄生バチ・寄生バエの間に香りを媒介とした相互作用系が成り立っているのではないかと考えた。

3. 気体成分分析

3(1) 方法

シェルター(中に幼虫がいる)・非被食葉を、磁石でツイスターを取り付けたガス捕集袋で覆う。同様にツイスターを取り付けたガス捕集袋を木に取り付け、クスノキ周辺の気体も捕集する。捕集時間は1時間とした。

分析にはガスクロマトグラフィーを用いた。

[使用した実験機器]

- ・Twister [polydimethylsiloxane (PDMS)-coated stir bar, 膜厚 0.5 mm, 長さ 10-mm; Gerstel GmbH & Co. KG]
- ・ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC/MS)[GC 6890: Agilent テクノロジー株式会社, HP-5MS のキャピラリーカラム (長さ 30 m, 内径 0.25 mm, 膜厚 0.25 um)使用/ MS 5973: Aligent テクノロジー株式会社, 70 eV]. 装置は、熱脱着システム (TDS)、冷却導入システム (CIS) およびコールドトラップシステム (CTS) (Gerstel GmbH&Co. KG) を搭載している。

3(2) 結果

気体成分分析は2回行い、1回目を実験1、2回目を実験2とする。

(1) 実験1 2018年5月25日 天気: 晴れ

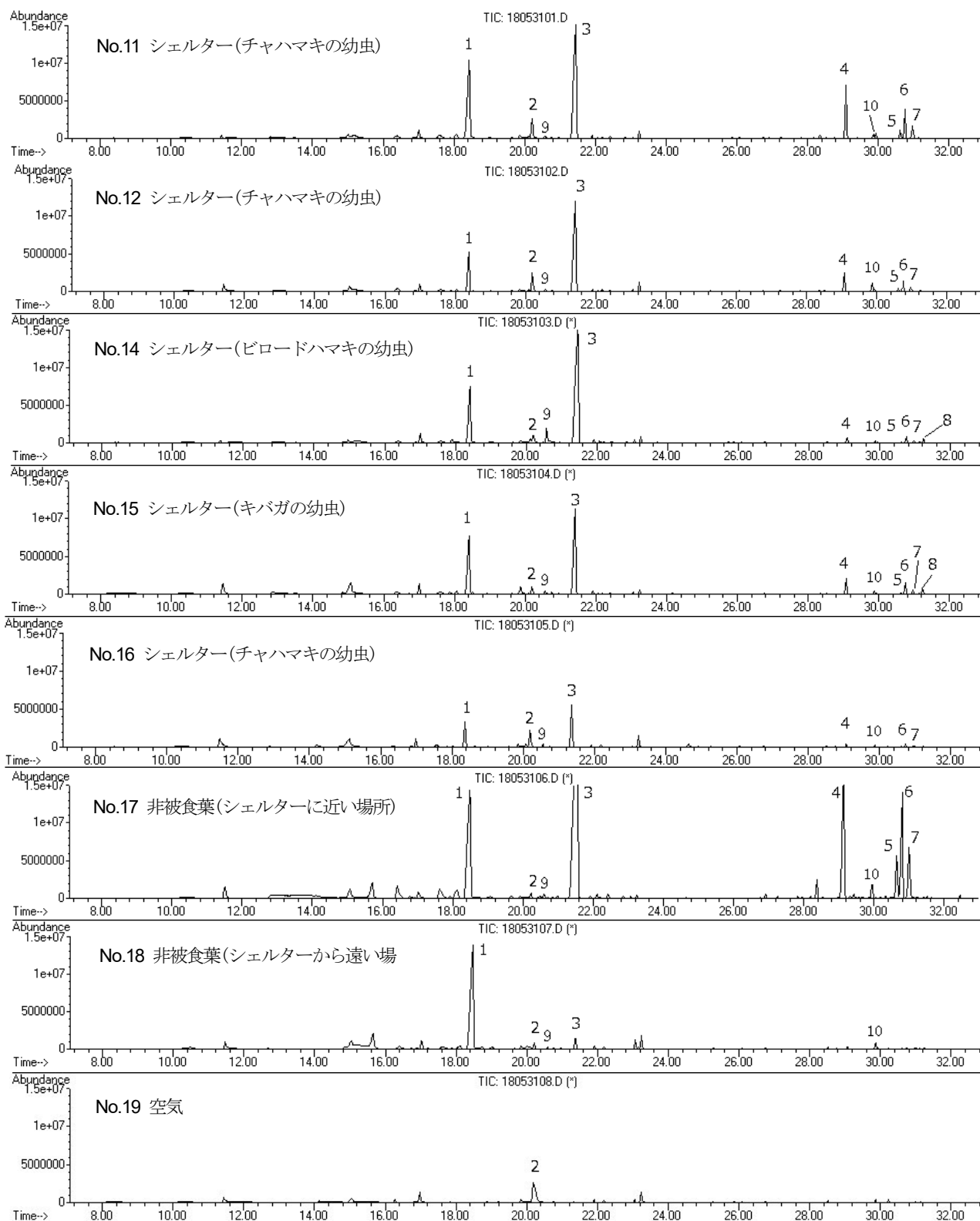
ツイスター番号	条件	捕集開始時間
No.11	チャハマキの幼虫	16:55
No.12	チャハマキの幼虫	16:58
No.14	ビロードハマキの幼虫	17:00
No.15	キバガの幼虫	17:05
No.16	チャハマキの幼虫	17:08
No.17	非被食葉 (シェルターに近い場所)	17:10
No.18	非被食葉 (シェルターから遠い場所)	17:15
No.19	空気	17:15

表2 実験1のサンプル

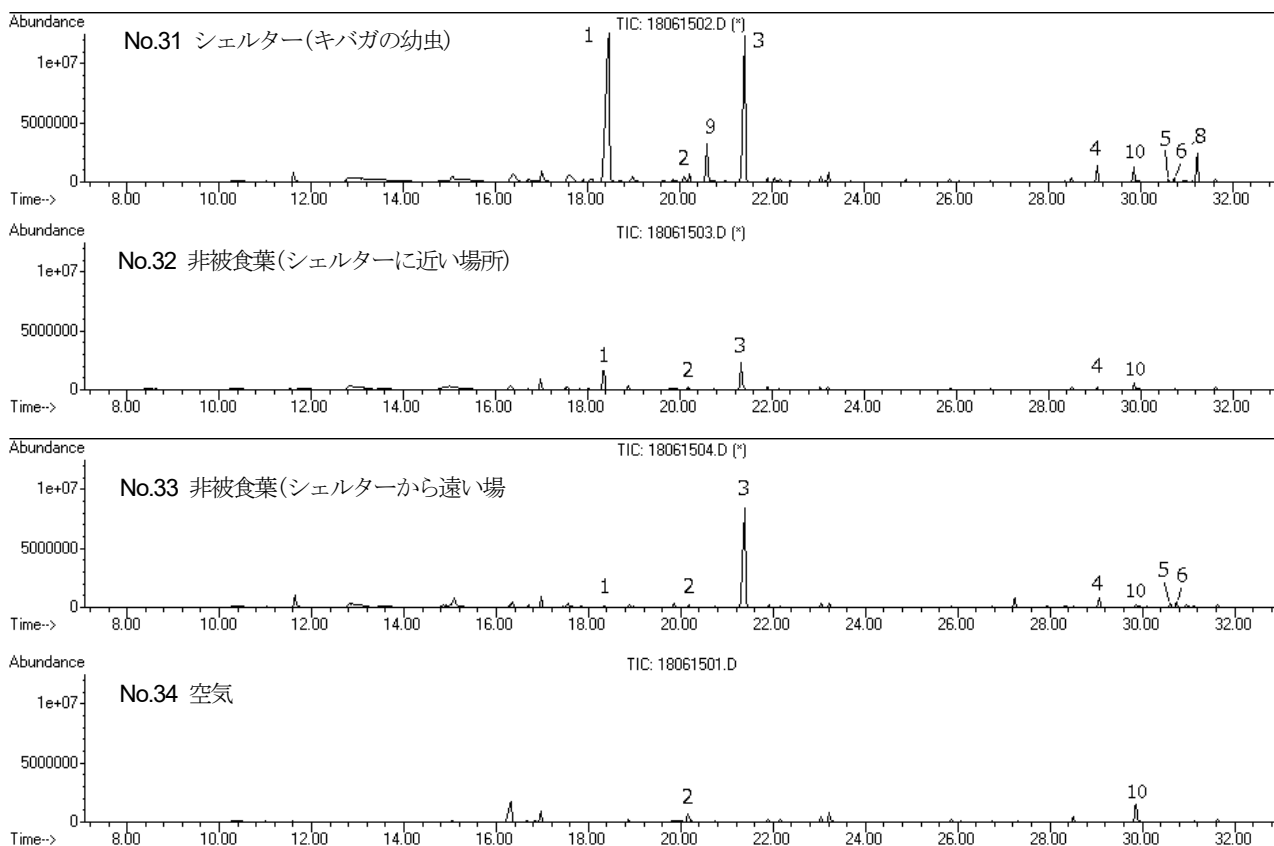
(2) 実験2 2018年6月14日 天気: くもり

表3 実験2のサンプル

ツイスター番号	条件	捕集開始時間
No.31	キバガの幼虫	16:30
No.32	非被食葉 (シェルターに近い場所)	16:35
No.33	非被食葉 (シェルターから遠い場所)	16:40
No.34	空気	16:45



グラフ1 実験1の結果



グラフ 2 実験 2 の結果

	化合物名
1	(E)-beta-ocimene
2	n-nonanal
3	camphor
4	(E)-beta-caryophyllene
5	germacrene D
6	unidentified sesquiterpene 1
7	unidentified sesquiterpene 2
8	(E, E)-alpha-farnesene
9	(E)-4,8-dimethyl-1,3,7-nonatriene
10	neryl acetone

表 3 実験 1・2 で検出された化合物

• No.14,15 のキバガの幼虫とピロードハマキの幼虫のシェルターからは化合物 8 の(E, E)-alpha-farnesene(C₁₅H₂₄) (図 2) が検出されたが, No.11,12 のチャハマキの幼虫のシェルターからは検出されなかった。

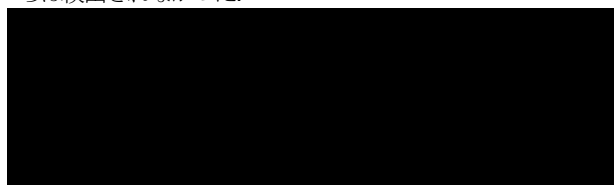


図 3 (E, E)-alpha-farnesene(C₁₅H₂₄)

• No.17(シェルターに近い場所)からは 4~7 の化合物が検出されたが, No.18(シェルターから遠い場所)の非被食葉からは検出されなかった。

• No.31 のキバガの幼虫のシェルターから(E, E)-alpha-farnesene が検出された。

3 (3) 考察

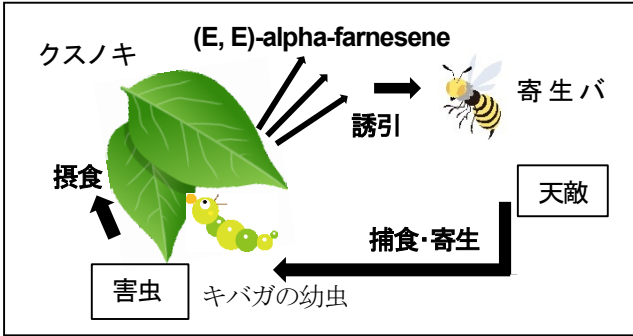


図4 クスノキ・キバガの幼虫(害虫)・寄生バチ(天敵)の関係

ガスクロマトグラフィーで揮発成分を分析した結果、寄生バチが出現したキバガの幼虫から(E, E)-alpha-farnesene が検出され、その他のシェルター(チャハマキの幼虫)や非被食葉からは検出されていないことから、(E, E)-alpha-farnesene は植食者(キバガの幼虫)の天敵となる捕食者を誘引する揮発成分である可能性が示唆された(図4)。

また、キバガとチャハマキの幼虫が摂食したシェルターから検出された揮発成分は異なっていた。これは、幼虫が摂食した際に付着した唾液成分が異なるからであると考えられる。植物は植食者に食害されたときに食害昆虫の唾液に含まれる成分をエリシターとして植食者誘導性植物揮発性物質を合成し、そのエリシターの違いによって揮発性物質のブレンドを変えていることが分かっている。結果からクスノキのシェルターでもこのような植物の防御反応が起こっていることが示唆された。

さらに、シェルターに近い場所で捕集した非被食葉の揮発成分とシェルターから遠い場所で捕集した揮発成分に違いが見られた。シェルターに近い非被食葉では摂食されたシェルターで検出された4,5,6,7の成分が検出されているが、シェルターから遠い非被食葉では検出されていない。このことから、シェルターに近い非被食葉は摂食されたシェルターが放つ揮発成分に呼応し、同種の成分を放出したのではないかと考えられる。

4. 結論

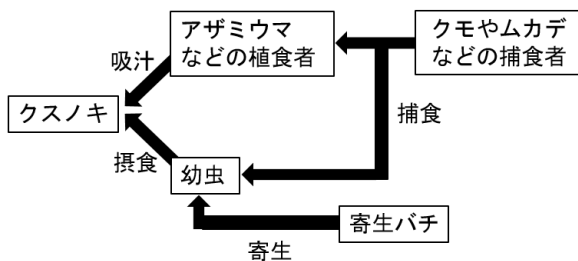


図5 クスノキの葉上における食物連鎖

クスノキには樟腦という防虫成分があるにもかかわらず多くの生物が生息しており、クスノキの葉上で一つの食物連鎖(食物網)が形成されていた(図5)。

クスノキにシェルターを形成して葉を摂食しているキバガの幼虫はシェルターの中で生活をしているため、寄生バチは視覚的に幼虫を捉えることはできない。しかし高い確率で寄生バチに寄生されていることから、キバガの幼虫のシェルターに限り放出されている(E, E)-alpha-farnesene が寄生バチを誘引している可能性が高い。

また、チャハマキの幼虫のシェルターには(E, E)-alpha-farnesene が放出されていないことから、幼虫の唾液の成分が

差異により、植物側のクスノキの防御反応も異なり、放出する揮発成分を変化させている可能性が高い。

ただ1例、実験1で非被食葉から捕集された気体成分が被食葉が放つたのと同様の成分であったことについては、それがシェルター密集部分に隣接していたため、シェルターが放つ揮発成分に呼応して同成分による防御反応をとった可能性がある。

5. 参考文献

- [1]全改訂新版 原色日本昆虫図鑑(下)編著者 伊藤修四郎, 奥谷禎一, 日浦勇
- [2]原色日本ガ類幼虫図鑑(上) 監修者 一色周知 著者 六浦晃, 山本義丸, 服部伊楚子
- [3]原色日本ガ類幼虫図鑑(下) 監修者 一色周知 著者 六浦晃, 山本義丸, 服部伊楚子, 黒子浩, 児玉行, 保田叔郎, 森内茂, 斉藤寿久
- [4]昆虫の図鑑 採集と標本の作り方 著者 福田晴夫, 山下秋厚, 福田輝彦, 江平憲治, 二町一成, 大坪修一, 中峯浩司, 塚田拓
- [5]原色日本ガ類図鑑(上)・(下) 著者 江崎悌三, 一色周知, 六浦晃, 井上寛, 岡垣弘, 緒方正美, 黒子浩
- [6]生き物たちのつづれ織り第三巻 京都大学理学研究科 生物科学専攻・生態学研究センター・霊長類研究センター・野生動物研究センター 「生物の多様性と進化研究のための拠点形成 ―ゲノムからエコシステムまで―」
- [7]「植物-植食者-天敵相互作用系における植物情報化学物質の機能」塩尻かおり, 前田太郎, 有村源一郎, 小澤理香, 下田武志, 高林純示(日本応用動物昆虫学会誌 第46巻 第3号:117-113 (2002)p.117~113)
- [8]「クスノキ枝枯れ症状の発生に関与する炭疽病, クスクダアザミウマと環境要因の関係」讚井孝義, 黒木逸郎(九州森林研究 59:211-214,2006)

6. 謝辞

御多用中、実験手法を御教示いただいた東京理科大学基礎工学部生物工学科の有村源一郎准教授、実験器具の提供・気体の分析をしてくださった京大大学生態学研究センターの小澤理香様、昆虫の同定をして頂いた佐賀大学応用生物科学科システム生態学研究室の徳田誠准教授、佐賀昆虫同好会の古川雅通様、クモ目やガ目の同定をしていただいた同大学院生の藤田将平様、学部生の尋木優平様に感謝申し上げます。また、九州大学昆虫学教室博士課程の屋宜禎史様、九州大学大学院比較社会文化研究院 生物多様性講座の松尾和典様、さらに、神戸大学昆虫多様性生態学研究室の前藤薫様に厚く御礼申し上げます。また、佐賀大学への連携に御協力いただいた安田雅俊様、御指導いただいている長尾圭祐先生に感謝申し上げます。