

昆虫-植物間のコミュニケーション~クスノキにおける香り~ The Communication between plants and insects via volatile components around Camphor leaves

松本 和佳奈 園田 優希 松永 裕一郎
Matsumoto Wakana, Sonoda Yuki, Matsunaga Yuitiro

The compounds released by camphor differed mainly depending on the species of pest of camphor tree. The components were found to be related to the species of parasitic wasp. The composition of the compound released by the eaten camphor tree suggested that a parasitic wasp corresponding to the moth larvae that eats it may have visited.

1. はじめに

熊本県の県木であるクスノキ(*Cinnamomum camphora*)にて蛾の幼虫が自らの吐いた糸で葉を重ね合わせて構造物を作り、その中で葉を摂食し生息していることが分かった。私たちはこの構造物をシェルター(図1)と呼び、その中の生息する幼虫をビーカー内で育て観察したところ、数匹の幼虫の体から寄生蜂が幼虫の体を食い破って出てきた。幼虫はシェルター内にいるため外側から視覚的に捉えることはできない。にもかかわらず幼虫が寄生蜂に寄生されていたことから、クスノキがなにかしらの手段で寄生蜂を誘引しているのではないかと仮説を得た。参考文献から、リママメが食害された際に揮発性物質を放出し食害者の天敵を誘引しているという事例を見つけ、それがクスノキ上でも行われているのではないかと考えた。本研究ではクスノキが放出する揮発成分と葉上に生息する昆虫について調査を行い、その関係性について考察を行う。



図1 クスノキのシェルター

2. 方法

(1)シェルター内に生息する幼虫の同定、及びビーカー内で育成、観察(図2)。
捕獲した虫はエタノール標本として保存する(図3)。



図2 羽化実験の様子



図3 昆虫のエタノール標本

(2)クスノキの葉が放出する揮発性物質の捕集及び同定



図4 気体捕集の様子

熊本県立宇土高等学校及び学校裏の白山公園内のクスノキをターゲットとし、Twisterをつけたガス吸着用袋で葉を覆い一時間捕集した(図4)。区分は、被食葉(シェルター中に幼虫がいる)・非被食葉・対照区として周辺の空気を捕集

した。捕集と分析は2018年5月25日(晴)に8回、6月6日(雨)に3回、13日(曇)に2回、14日(曇)に4回、20日(曇)に3回、7月4日(曇)に2回、10月24日(晴)に10回、2019年1月16日(晴)に10回、4月21日(晴)に10回、計52回行った。Twisterはクール便で京都大学に送って分析を依頼した。気体分析にはガスクロマトグラフィーを用いてクロモグラムでグラフ化した。実験機器は、① Twister[polydimethylsiloxane (PDMS)-coated stir bar, 膜厚 0.5mm, 長さ 10-mm; Gestel GmbH&Co.KG] ②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 30m, 内径 0.25mm, 膜厚 0.25µm) 使用/MS 5973:Agilent テクノロジー株式会社, 70eV]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)(Gestel GmbH&Co.KG)搭載型を使用した。発生した昆虫はデジタルマイクロスコープで撮影記録した。

3. 結果

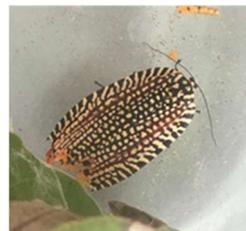
(1)羽化実験の結果

ア. すべて成虫に羽化したチャハマキ *Homona magnanima*(ハマキガ科)寄生率0%



計6個体

イ ビロードハマキ *Cerace xanthocosma* の成虫 計3個体



イー1. ミナミカワナガハマキヒメバチ *Talentaea minamikawaii*(による寄生を受けていたビロードハマキ幼虫。



イー2. ピロードハマキから出現したミナミカワナガハマキヒメバチ(ウスマルヒメバチ亜科)



計 1 個体

ウ. トビマダラメイガ *Samaria ardentella*
コマユバチによる寄生を受けていた幼虫.



計 5 個体

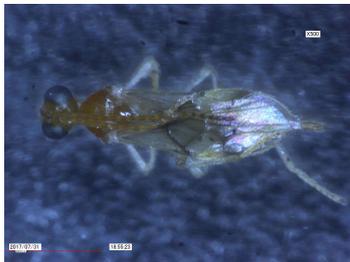
ウー1. トビマダラメイガの成虫



ウー2. トビマダラメイガから出現したキイロコウロコマユバチ *Phanerotoma planifrons*. 計 12 個体



ウー3. ヒメキイロコウロコマユバチ
Phanerotoma fiava 計 1 個体



(2) 気体成分分析

表 1 実験 1 の試料 2018 年 5 月 25 日 天気: 晴れ

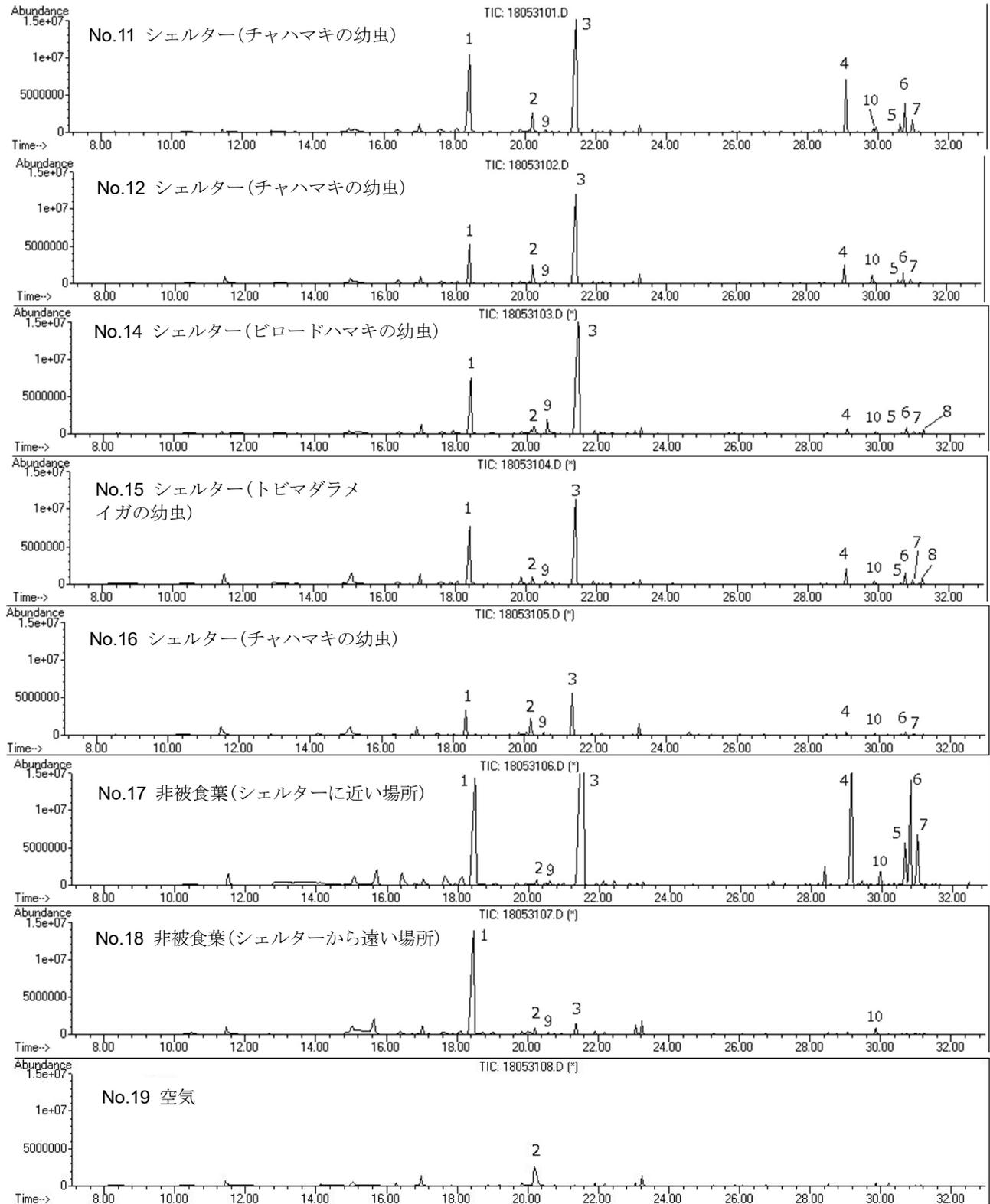
ツイスター番号	条件	捕集開始時間
No.11	シェルター: チャハマキの幼虫	16:55
No.12	シェルター: チャハマキの幼虫	16:58
No.14	シェルター: ピロードハマキの幼虫	17:00
No.15	シェルター: トビマダラメイガの幼虫	17:05
No.16	シェルター: チャハマキの幼虫	17:08
No.17	非被食葉 (シェルターに近い場所)	17:10
No.18	非被食葉 (シェルターから遠い場所)	17:15
No.19	空気	17:15

表 2 実験 2 の試料 2018 年 6 月 14 日 天気: くもり

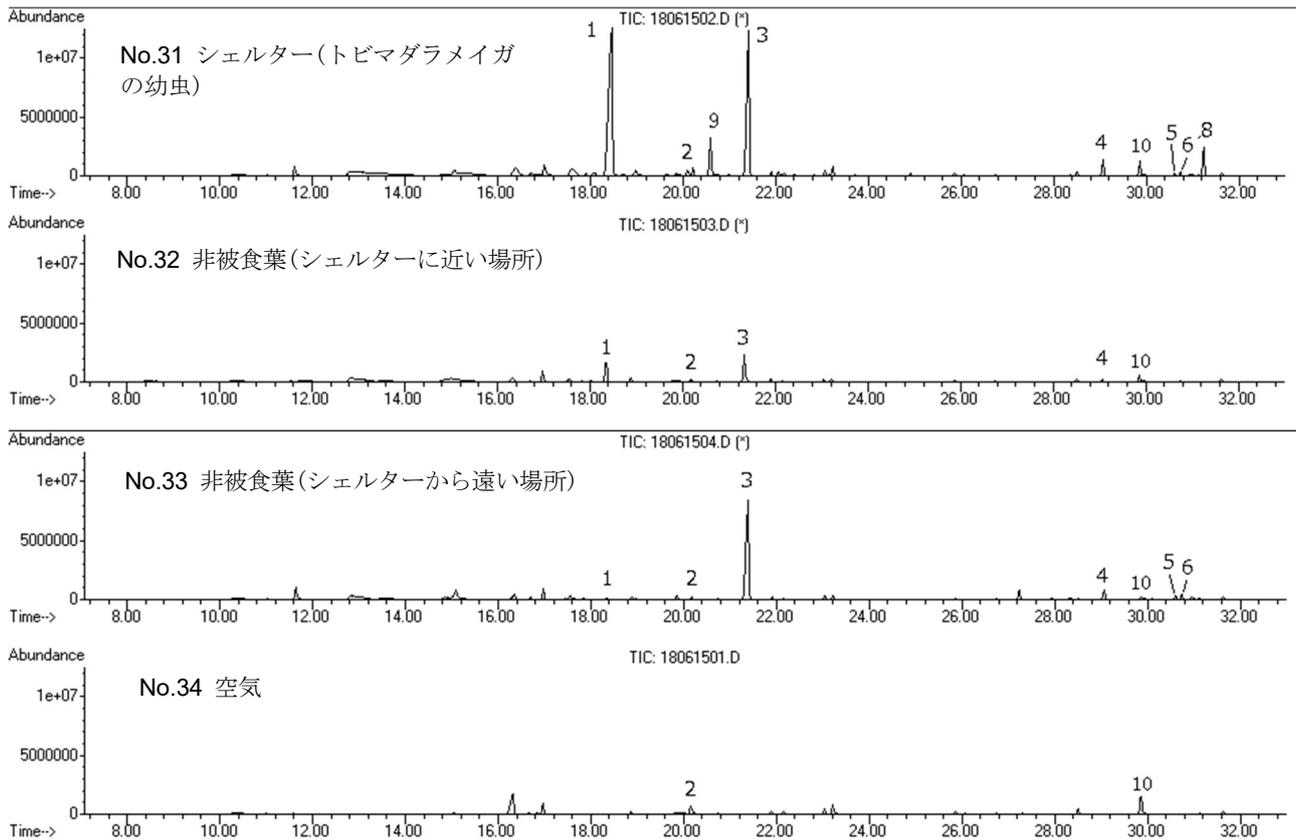
ツイスター番号	条件	捕集開始時間
No.31	シェルター: トビマダラメイガの幼虫	16:30
No.32	非被食葉 (シェルターに近い場所)	16:35
No.33	非被食葉 (シェルターから遠い場所)	16:40
No.34	空気	16:45

表 3 実験 3 の試料 2019 年 4 月 21 日 天気: 晴れ

ツイスター番号	条件	捕集開始時間
No.21	シェルター: ピロードハマキの幼虫	12:35
No.22	シェルター: ピロードハマキの幼虫	13:23
No.23	シェルター: ピロードハマキの幼虫	13:28
No.24	シェルター: ピロードハマキの幼虫	13:35
No.25	非被食葉 (シェルターに近い場所)	13:35
No.26	人口傷	13:45
No.27	非被食葉 (シェルターから遠い場所)	13:50
No.28	空気	13:55
No.29	葉を除去したもの (シェルターから遠い場所)	14:00
No.30	ピロードハマキの幼虫 (幼虫のみ)	15:21



グラフ1 実験1の結果



グラフ 2 実験 2 の結果

表 4 実験 1・2 で検出された化合物

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

No.14,15 のトビマダラメイ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($C_{15}H_{24}$) (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。

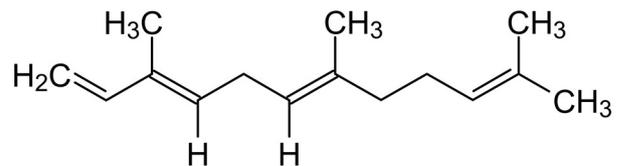
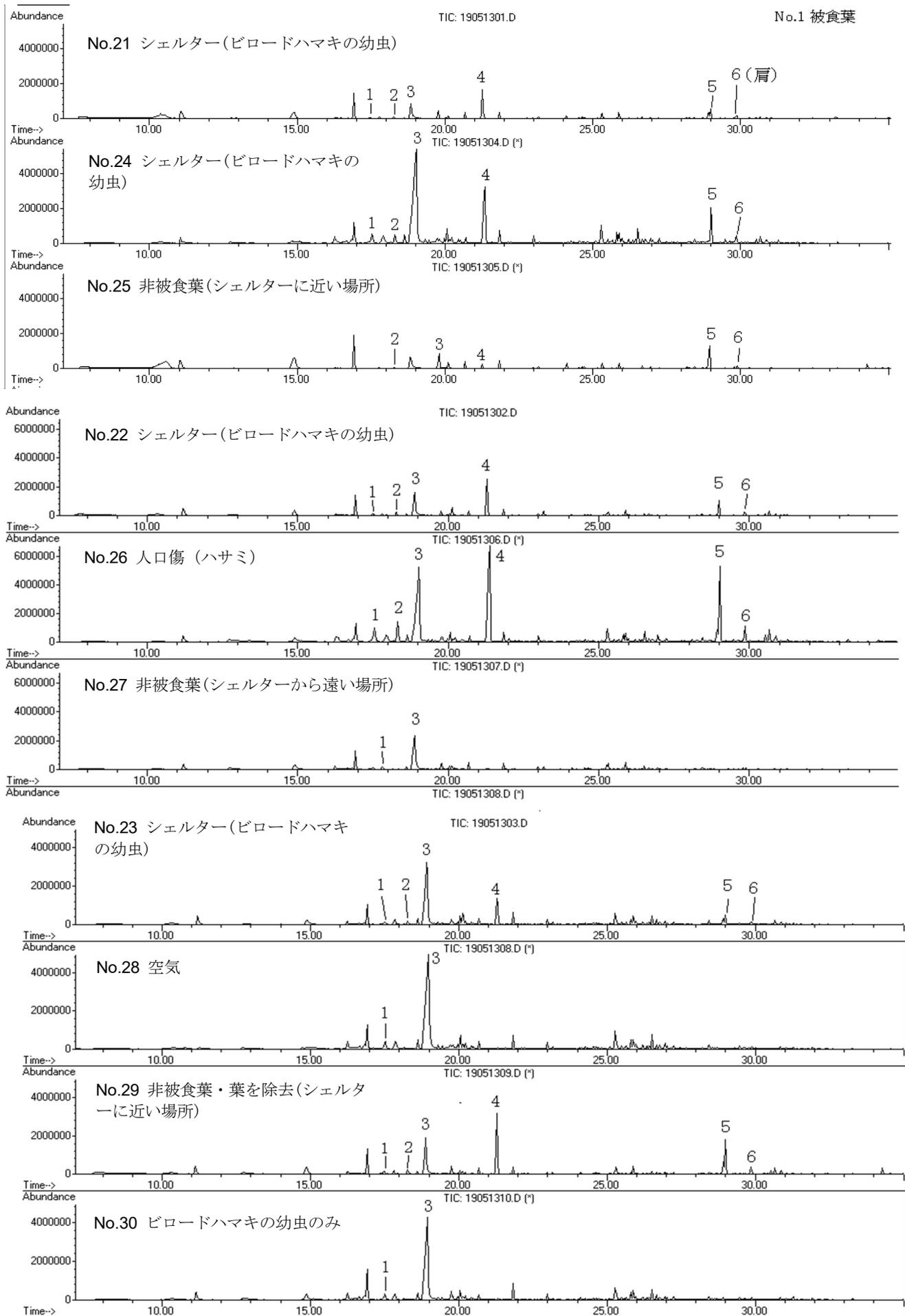


図 3 (E, E)-alpha-farnesene($C_{15}H_{24}$)

- No.17(シェルターに近い場所)からはシェルターから放出されたものと同じ 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 のトビマダラメイガの幼虫のシェルターから(E, E)-alpha-farnesene が検出された。



グラフ3 実験3の結果

表5 実験3で検出された化合物

化合物名	
1	limonene
2	(E)-beta-ocimene
3	acetophenone
4	camphor
5	(E)-beta-caryophyllene
6	Alpha-humulene

- ・1番と3番の化合物は空気でも多く検出されていることから、クスノキ由来の成分ではないとかがえられる。
- ・ピロードハマキの幼虫のシェルターからは化合物5の(E)-beta-caryophylleneと化合物6のAlpha-humuleneが検出された。
- ・シェルターに近い非被食葉からはシェルターから放出された成分と同じ化合物5と6が検出された。シェルターから遠い非被食葉からは検出されなかった。
- ・幼虫を袋に入れて捕集した気体からは化合物5と6は検出されなかった。

4. 考察

クスノキの葉を食害した蛾の幼虫の種類と被害誘導的に放出された香り成分、また飛来した寄生蜂の関係は次のようになったので、被食されたクスノキから種に応じた香りを放出していると考えられる。

表6 コマユバチ科の寄生と被害誘導的に放出された香り

幼虫	寄生	香り成分
チャハマキ	なし	—
トビマダラメイガ	キイロコウラコマユバチ ヒメキイロコウラコマユバチ	(E, E)-alpha-farnesene

表7 ヒメバチ科の寄生と被害誘導的に放出された香り

幼虫	寄生	香り成分
チャハマキ	なし	—
ピロードハマキ	ミナミカワナガハマキヒメバチ	(E)-beta-caryophyllene, Alpha-humulene

また、実験3で葉を入れず幼虫のみから捕集した香り成分は空気と等しい成分が検出されたため、今回捕集した揮発性物質は幼虫の体からではなくクスノキの葉から放出されたものであることが分かる。

羽化実験の結果よりトビマダラメイガ科の幼虫はコマユバチ科の寄生バチに多く寄生されており、ピロードハマキの幼虫一個体がヒメバチによる寄生を受けていた。

実験2の結果より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トビマダラメイガの幼虫から(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(トビマダラメイガの幼虫)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5)。

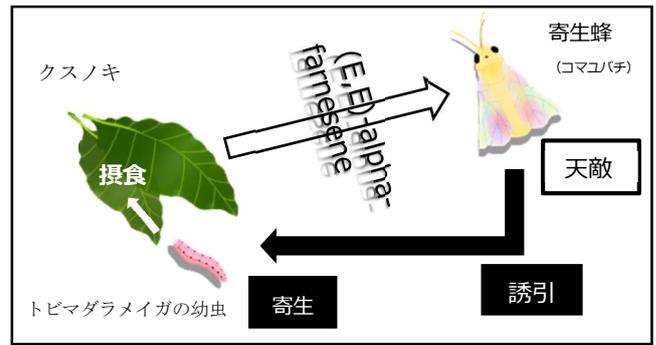


図5 クスノキ・トビマダラメイガ・寄生蜂(コマユバチ)の関係

実験3で採集したシェルター内の幼虫には寄生蜂による寄生は見られなかったが、limonene, (E)-beta-ocimeneは香り成分のため植物が昆虫を引き寄せるための成分であると考えられる。一方で、ピロードハマキの幼虫のシェルターから放出された(E)-beta-caryophyllene, Alpha-humuleneがヒメバチを誘引した可能性が考えられる(図7)。

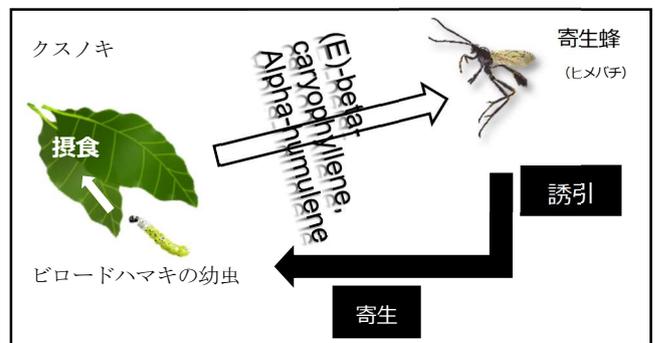


図6 クスノキ・ピロードハマキ・寄生蜂(ヒメバチ)の関係

また、シェルターに近い非被食葉からは被食葉と同種の成分が検出されていることから、食害された葉が放つ香り成分に被食葉が呼応し似たような香りのブレンドを放出している可能性がある(図6)。

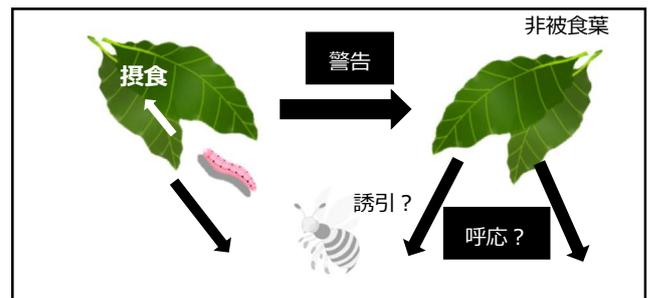


図7 被食葉と非被食葉間コミュニケーション

実験2実験3の結果から、クスノキは幼虫によって種特異的に誘引物質を放出し防御機構を形成していると考えられる。

5. 結論

クスノキにシェルターを形成して葉を摂食しているガの幼虫はシェルターの中で生活をしているため、寄生蜂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、植物側の防御反応として、放出する揮発成分のブレンドを変化させて天敵を誘引している可能性が高い。つまり、トビマダラメイガの幼虫に対しては(E, E)-alpha-farneseneを放出してコマユバチ

科の寄生を、ビロードハマキは(E)-beta-caryophyllene, Alpha-humulene を放出してヒメバチ科の寄生を誘引している可能性が高い。

このように、クスノキは香り成分を放出することによって寄生蜂を誘引し幼虫に寄生させるという間接的な防御機構をとっていることが示唆された(図8)。

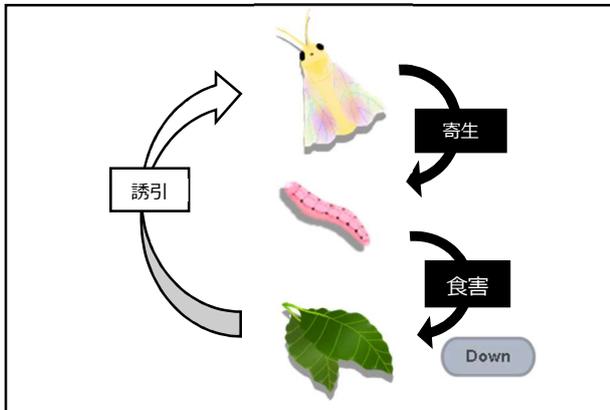


図8 クスノキの間接効果

また、チャハマキの幼虫に食害された葉は、コマユバチを誘引すると思われる(E, E)-alpha-farnesene を放出することができない、あるいは放出しないし、ヒメバチを誘引すると考えられる(E)-beta-caryophyllene, Alpha-humulene も放出しない(できない)という事実は、チャハマキの幼虫には香りによるコミュニケーションを抑制、あるいは妨げるしくみが備わっている可能性が示唆された。チャハマキの幼虫の唾液成分が他種との間に差異があるかなどの検証が求められる。チャハマキは、クスノキの生態系内の天敵を利用した防御反応の抑制によって、寄生蜂による低い寄生率を維持している可能性が見出された。

最も誘引物質の可能性が高いと考えられる(E, E)-alpha-farnesene は市販されておらず、検証することができなかったため、今後は化粧品に含まれている成分で代行できないか実験していきたい。

6. 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)

7. 謝辞

捕集気体の成分分析を毎回していただきました京都大学生態学研究センターの小澤理香様, 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, 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, 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央様, 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 前籾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, ヒメバチの同定をして頂いた神奈川県立生命の星・地球博物館学芸員の渡辺恭平様, 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。

<メモ>

