

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K07686

研究課題名(和文) 害虫カミキリムシが特異的に利用している因子を組み合わせた行動制御システムの構築

研究課題名(英文) Establishment of control system which consists of factors specifically utilized by insect pest longicorn beetles

研究代表者

安居 拓恵 (Yasui, Hiroe)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・植物防疫研究部門・グループ長補佐

研究者番号：80414952

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：カミキリムシの行動解発因子を解明し、因子を組み合わせて行動制御を行うことを目的としている。ゴマダラカミキリでは、揮発性フェロモンの同定、メス体表上のコンタクトフェロモンの全容解明ができた。オスはコンタクトフェロモン存在下での滞在時間が長いことから、昆虫病原菌製剤と組み合わせることで、製剤上での滞在時間を延ばし、感染効率を上げることができた。感染オスがメスと交尾することでメスにも水平伝播する。

侵入害虫クビアカツヤカミキリでは、オスの性・集合フェロモン成分を同定した。また、フェロモン製剤の有効期間を従来の2倍にした。メスの寄主選好性においがか関与していることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ゴマダラカミキリでは、揮発性フェロモンについて近縁種との関係が解明される重要な知見が得られた。メス体表のコンタクトフェロモンでは、炭化水素成分のみを利用する多くのカミキリムシと異なり、3種類の物質グループに属する15もの成分を認識するという複雑な全容を解明したことは世界的にも例がなく、学術的に価値ある成果となった。コンタクトフェロモンと昆虫病原菌製剤とを組み合わせることで、製剤上でのオスの滞在時間を延ばし、感染効率を上げることができた。感染オスがメスと交尾することでメスにも水平伝播する。今後侵入害虫のクビアカツヤカミキリでも同様な手法が利用出来たら応用的にも意義ある成果となる。

研究成果の概要(英文)：Combination of candidate factors which specifically utilized by insect pests will be utilize to control them. We detected volatile pheromone candidates from the white-spotted longicorn beetle *Anoplophora malasiaca*. We succeeded a total synthesis of contact sex pheromone, gomadalactones, and pheromonal activities of synthetic ones were as same level as those of natural ones. We also reported improving contagion and horizontal transmission of entomopathogenic fungi by *A. malasiaca*, with help of contact sex pheromone. In an emerging invader, the red-necked longicorn beetle *Aromia bungii*, we identified male-produced sex aggregation pheromone component. We investigated extension of sustained pheromone release for monitoring the invader. We showed the evidence that female of *A. bungii* might use chemical information from host plants to choose its oviposition site.

研究分野：化学生態学 植物保護

キーワード：揮発性フェロモン コンタクトフェロモン 触角応答 ゴマダラクトン カミキリムシ

## 1. 研究開始当初の背景

ゴマダラカミキリ *Anoplophora malasiaca*(Thomson)(Coleoptera: Cerambycidae)は北海道南部、本州・四国・九州と周囲の島々、奄美大島、沖縄島、朝鮮半島、濟州島に分布する。寄主範囲が大変広く、幼虫がカンキツ類、ブルーベリーなどの果樹、ヤナギ、プラタナスやポプラなどの街路樹の幹の内部を食害してしばしば枯死させる世界的重要害虫であるが、効果的な害虫管理は困難な状況である。その第一の原因は、メス成虫が樹皮下に産卵し、ふ化した幼虫は穿孔性で樹皮下～樹幹部にいたるため殺虫剤による防除が困難なことである。また、成虫の移動性が高いことから効率的な防除が難しいことなどが指摘されている。

これまでに近縁種を含め、確かな誘引力を持つ性フェロモンは報告されていなかったが、2015年、近縁種の *A. chinensis* で誘引性の性フェロモンが同定された。*A. malasiaca* ではまだ誘引性の性フェロモンは見つかっていないが、申請者らの研究グループではこれまでに3種の異なる植物を寄主とする個体群を用いた実験を重ね、オスは自らが食樹としている植物の傷枝から出る匂いに誘引されることを明らかにしており、本種はこの匂いを配偶者探索情報として利用していると考えている。これまでに3種の植物を寄主とする野外個体群の寄主植物の匂いに対する行動観察から、オスは自らが寄主とする植物傷枝の匂いに対してより強く誘引され、配偶者探索情報として利用していることを発見した。

また、交尾行動を解発するコンタクトフェロモンの化学構造と組成を明らかにし、視覚刺激の関与も含め本種の配偶者探索の一端を明らかにしてきた。コンタクトフェロモンは炭化水素群、ケトン群及びゴマダラクトン群の3つの化合物群により構成され、この3つの化合物群を混合した場合に活性が発現する。前2群は化学合成により容易かつ大量に提供することができるのに対し、必須成分であるゴマダラクトン群は3-オキサビシクロ[3.3.0]オクタン骨格を有する複雑な化学構造であるため合成が困難であった。防除資材として実用化に向けた研究開発を行うためには、同化合物群をリード化合物とした、より単純化された化学構造をもつ新規化合物の発明、及びその合成法の確立が望まれていた。研究分担者(鈴木)らのグループではゴマダラクトン群の合成研究を行ってきたが、ようやく課題となる基本骨格の合成に成功した。

## 2. 研究の目的

カミキリムシは果樹などの各種永年作物の幹の内部を食害し枯死させるため、農業上大変重要であるにもかかわらず防除が難しいものが多い。オスはメス体表にあるコンタクトフェロモンによってメスを認識して交尾する。本研究ではメスの持つコンタクトフェロモンのオスに対する定着効果の評価を行うとともに、コンタクトフェロモン中の必須成分であるゴマダラクトンと類縁体アナログの分子設計及び合成を行い、その活性を評価し、構造活性相関を調べる。活性を持ちつつより合成の容易な物質を見出し、防除資材としての実用化に向けた検討を行う。また、カミキリムシの行動解発要因を解明し、様々な要因を組み合わせることで、効率的に行動制御を行うことが出来れば、本種の防除に貢献出来る。例えば誘引性の成分と接触性のコンタクトフェロモンを組み合わせれば、効率的に成虫を誘引し、一網打尽にできるというような防除手法となる可能性は高い。

また、他種のカミキリムシについても行動解発要因を解明し、このような事例を応用発展させることも可能と考える。研究期間途中からバラ科果樹害虫の特定外来生物クビアカツヤカミキリの日本への侵入が問題となり、本研究が応用できると考え、クビアカについてもフェロモン等の同定を進めた。

## 3. 研究の方法

(1) ゴマダラカミキリのコンタクトフェロモン中の必須成分であるゴマダラクトンの全合成を行い、天然物との比較で活性を評価する。

さらに関連の類縁体アナログの分子設計及び合成を行い、その活性を評価し、構造活性相関を調べる。

メス体表抽出物を塗布したガラスダミーと、市販の昆虫病原糸状菌製剤とを組み合わせ成虫の感染率を比較する。

本種の揮発性性フェロモン候補物質を同定し、近縁種との比較を行い、誘引活性を調べる

(2) クビアカツヤカミキリの揮発性性フェロモンの存在が示唆されたため、フェロモン物質の単離、同定を行う。

被害圃場での成虫の誘殺に活用することを目的に、フェロモン物質を含有した各種試作誘引剤を作成し、野外トラップ実験を行い比較検討する。

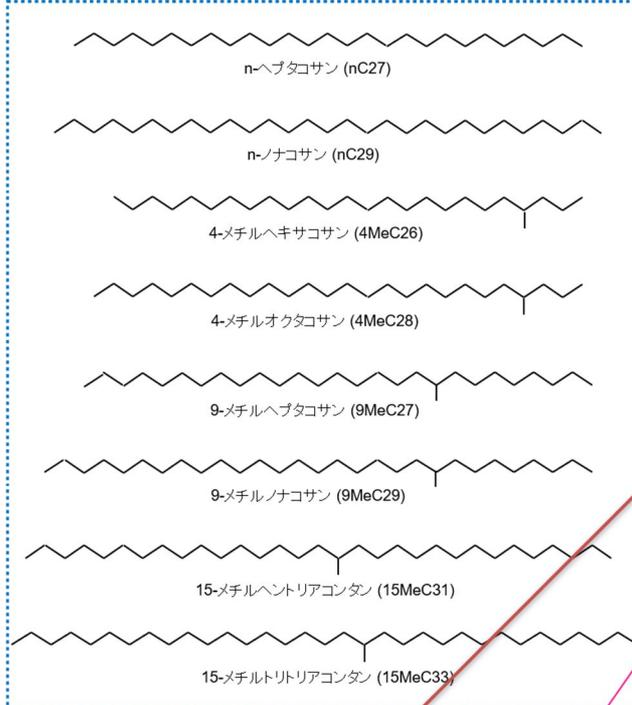
## 4. 研究成果

(1) 日本在来種のゴマダラカミキリでは、揮発性性フェロモン探索の過程で、オスが放出し、オスおよびメス成虫の触角が応答する活性2物質(近縁種と同じ物質と判明)と、新たに雌雄成虫両方から揮発する物質で、触角が応答する活性物質も発見した。また、オスはメス体表面上の接触性のコンタクトフェロモンを認識することによってそこに定着する。必須成分であるゴマダ

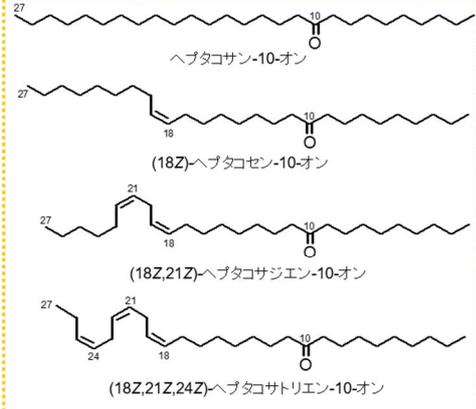
ラクトン類は複雑な化学構造であるため合成が困難であったが、全合成に成功した(図1)。合成物が天然のゴマダラクトン類に匹敵する活性をもつことが明らかとなり、複数成分にまたが

## メスのコンタクトフェロモンの全容

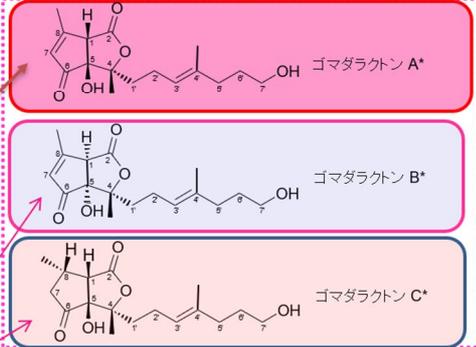
8つの炭化水素成分(ヘキサン画分)



4つのケトン成分(10%酢酸エチル/ヘキサン画分)



3つのラクトン成分(酢酸エチル画分)



\*: 活性候補成分 (Yasui, 2009を一部改変)

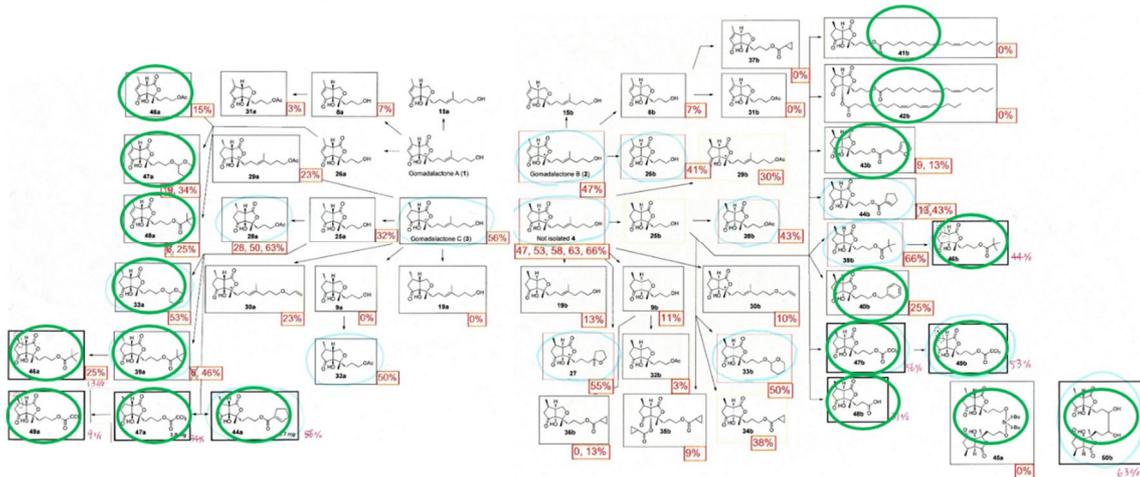
新潟大により、  
新たに全合成が完成

新潟大により、  
全合成が完成

るコンタクトフェロモン成分の全容が解明できた。

(図1)ゴマダラカミキリメスのコンタクトフェロモンの化学構造

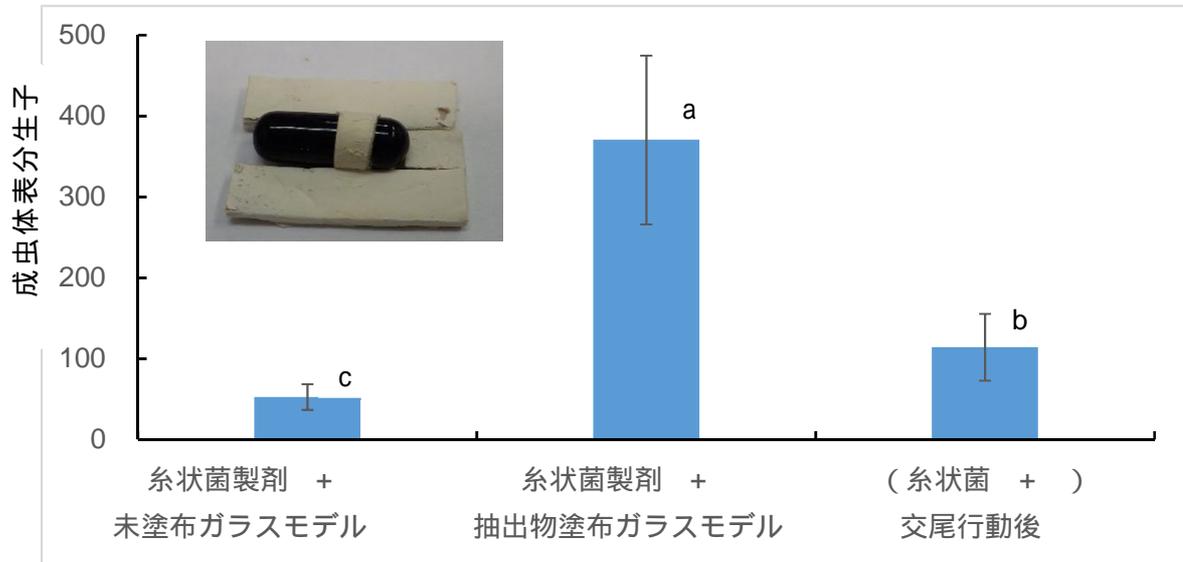
ゴマダラクトンの類縁体アナログの分子設計及び合成を行い(図2)、その活性を評価したところ、環が飽和の方が活性高いこと、側鎖は長くても短くても嵩高くても活性が落ちること、ラクトンカルボニルが活性発現に重要であることが明らかとなった。



(図2)ゴマダラクトン類縁体の構造と活性

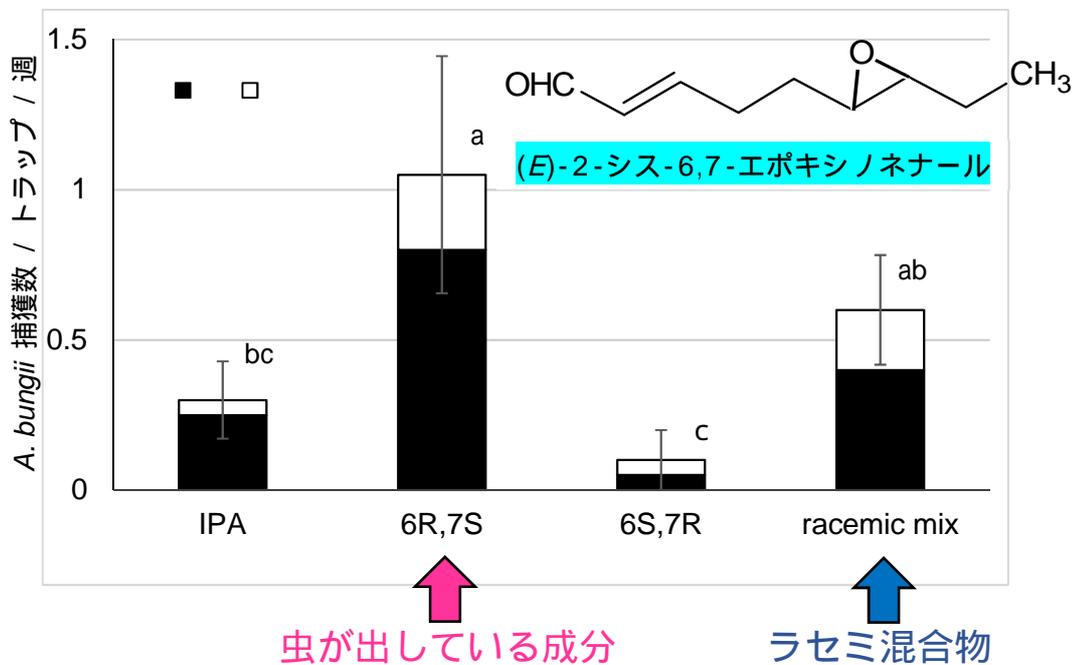
オスはメス体表上のコンタクトフェロモン存在下(メス抽出物)では滞在時間が長時間に及ぶことから、メス体表抽出物を利用した行動制御・防除ができると考えた。メス体表抽出物を塗布したガラスモデルと、市販の昆虫病原糸状菌製剤とを組み合わせる(図3写真)ことで、製剤上での滞在時間を延ばし、感染効率を上げることが明らかとなった(図3)。さらに、感染オスがメスと交尾することでメスにも水平伝播した。

本種オスの出す揮発性物質は近縁種で性フェロモンと同定されている物質と同じであることが明らかとなった。触角応答と室内実験では活性が認められた。また、オスメス両性が出す揮発性物質としてノナナールを新規に同定した。



(図3) 製剤上に設置したガラスモデルと同居した後のゴマダラカミキリオスの体表上の分生子数と、メス抽出物塗布ガラスモデル滞在オスと交尾したメスの体表上の分生子数(右端)

(2) パラ科果樹害虫の侵入害虫クビアカツヤカミキリでは、オス特異的な成分の誘引性を野外で確認し、(E)-2-シス-6,7-エポキシノネールを性・集合フェロモン成分として同定した(図4)。キラルカラム分析による合成品との比較から、虫が出している物質は(6R,7S)体であった。



(図4) 被害モモ園におけるフェロモン候補成分を誘引源としたトラップによるクビアカツヤカミキリ成虫の捕獲数比較

懸案事項のフェロモン製剤の有効期間を延ばすため、様々な剤と溶媒を試し、揮発するフェロモン量を分析し、候補製剤をいくつか見出した。その結果、有効期間を従来の2倍にすることが可能となった。また、メスの寄主選好性に寄主植物のにおいが関与していることを明らかにした。

ゴマダラカミキリではゴマダラクトン全合成について特許を取得した。糸状菌製剤とコンタクトフェロモンの組み合わせによる感染率向上について特許出願を行い、論文も受理され、かなりの反響があった。クビアカツヤカミキリでは性・集合フェロモンに期待したほどの誘引力はなかったが、モニタリングには使用することが可能なレベルであった。今後本種についてはさらに研究を進める必要がある。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yasui Hiroe, Fujiwara-Tsujii Nao, Kugimiya Soichi, Haruyama Naoto	4. 巻 56
2. 論文標題 Extension of sustained pheromone release for monitoring an emerging invader, red-necked longicorn beetle <i>Aromia bungii</i> (Coleoptera: Cerambycidae)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Entomology and Zoology	6. 最初と最後の頁 291 ~ 297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13355-021-00726-w	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 Yasui H., Fujiwara-Tsujii N., and Yasuda T	4. 巻 54(2)
2. 論文標題 Detection of volatile pheromone candidates from the white-spotted longicorn beetle, <i>Anoplophora malasiaca</i> (Coleoptera: Cerambycidae)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Entomology and Zoology	6. 最初と最後の頁 203-211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13355-019-00614-4	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 Nao Fujiwara-Tsujii, Hiroe Yasui, Tetsuya Yasuda, Sadao Wakamura, Toshiharu Akino, Midori Fukaya, Toshio Suzuki, Takashi Hoshi, Hisahiro Hagiwara and Hiroshi Ono	4. 巻 45
2. 論文標題 Pheromonal activity of synthetic contact sex pheromone, gomadalactones in male white-spotted longhorn beetle, <i>Anoplophora malasiaca</i> (Coleoptera: Cerambycidae)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Chemical Ecology	6. 最初と最後の頁 440-446
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10886-019-01069-1	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 Yasui H, Fujiwara-Tsujii N, Yasuda T, Fukaya M, Kiriyama S, Nakano A, Watanabe T, Mori K.	4. 巻 54 (1)
2. 論文標題 Electroantennographic responses and field attraction of an emerging invader, the red-necked longicorn beetle <i>Aromia bungii</i> (Coleoptera: Cerambycidae), to the chiral and racemic forms of its male-produced aggregation-sex pheromone.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Entomology and Zoology	6. 最初と最後の頁 109-114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13355-018-0600-x	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 安居拓恵、辻井直、安田哲也	4. 巻 第73巻
2. 論文標題 クビアカツヤカミキリのフェロモンを利用した防除への可能性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 果実日本	6. 最初と最後の頁 53-62
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 Fujiwara-Tsujii Nao, Yasui Hiroe	4. 巻 12
2. 論文標題 Improving Contagion and Horizontal Transmission of Entomopathogenic Fungi by the White-Spotted Longicorn Beetle, <i>Anoplophora malasiaca</i> , with Help of Contact Sex Pheromone	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Insects	6. 最初と最後の頁 383 ~ 383
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/insects12050383	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 安居拓恵、上地奈美	4. 巻 68
2. 論文標題 クビアカツヤカミキリの産卵行動における寄主植物のにおい情報の関与.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 関東東山病害虫研究会報	6. 最初と最後の頁 66-69
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 -

〔学会発表〕 計6件(うち招待講演 1件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 安居拓恵、辻井直、釘宮聡一、安田哲也、所雅彦、深谷緑、桐山哲、中野昭雄、渡邊崇人、春山直人、J. G. Millar
2. 発表標題 クビアカツヤカミキリのフェロモンの同定とモニタリングあるいは防除への利用の可能性
3. 学会等名 第64回日本応用動物昆虫学会大会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 辻井(藤原)直・安居拓恵・安田哲也・若村定男・秋野順治・深谷緑・鈴木敏夫・萩原久大・星隆・小野裕嗣
2. 発表標題 ゴマダラカミキリの接触性フェロモン成分ゴマダラクトン類の活性評価
3. 学会等名 第63回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安居拓恵・辻井直・安田哲也・深谷緑・桐山哲・中野昭雄・渡邊崇人・森謙治
2. 発表標題 クビアカツヤカミキリのオス成虫が放出する性・集合フェロモン主成分の光学活性体同定と触角応答および野外誘引実験
3. 学会等名 第63回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 深谷緑・桐山哲・岩田隆太郎・安居拓恵・所雅彦・高梨琢磨・加賀谷悦子
2. 発表標題 クビアカツヤカミキリのフェロモン・糖酢液併用による誘殺法：改良の試み
3. 学会等名 第63回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nao Fujiwara-Tsujii and Hiroe Yasui
2. 発表標題 Host plant affects the sexual attractiveness of the female white-spotted longicorn beetle, <i>Anoplophora malasiaca</i>
3. 学会等名 The joint meeting of the 33rd annual meeting of the ISCE and the 9th meeting of the APACE (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 安居拓恵・上地奈美
2. 発表標題 クビアカツヤカミキリ成虫の寄主選択ににおい情報は関与するか
3. 学会等名 第66回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 カミキリムシ科昆虫の防除方法	発明者 辻井直・安居拓恵	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-207488	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 3 - オキサピシクロ [ 3 . 3 . 0 ] オクタン骨格を有する化合物の製造方法、前記化合物、前記化合物の中間体、ゴマダラカミキリの性刺激剤、及びゴマダラカミキリの防除剤	発明者 安居拓恵・辻井直・鈴木敏夫・萩原久大・小野裕嗣	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特許第6586863号	取得年 2019年	国内・外国の別 国内

〔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	安田 哲也 (Yasuda Tetsuya) (20414625)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・生物機能利用研究部門・研究領域長 (82111)	
研究分担者	辻井 直 (藤原直) (Fujiwara-Tsujii Nao) (40568440)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・中央農業研究センター・調整監・技術支援センター長等 (82111)	
研究分担者	鈴木 敏夫 (Suzuki Toshio) (80202133)	新潟大学・自然科学系・教授 (13101)	

## 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
---------	---------