

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15K07481

研究課題名(和文)木材害虫ヤマトシロアリ属の日本における分類および分布と防除への応用

研究課題名(英文)Taxonomy and biogeography of wood pest Reticulitermes in Japan for the application to the control.

研究代表者

竹松 葉子 (Takematsu, Yoko)

山口大学・大学院創成科学研究科 ・教授

研究者番号：30335773

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：シロアリ類は、建築物の害虫として経済的被害が非常に大きい昆虫であるにもかかわらず、分類・分布という基礎的研究が遅れている。その要因としては、社会性昆虫である故に個体変異が大きく、飼育による交配累代実験が行えないなどが挙げられる。特に、ヤマトシロアリ属は日本では北海道から沖縄まで広く分布する重要な害虫であるが、外部形態が非常によく似ているために肝心の種名がわからない場合が多い。そこで、本研究では、まずDNA分析により遺伝的多型の検出と系統解析を行い、その結果を元に形態を比較した。それによって日本に広く分布するヤマトシロアリ属の種構成と分布が明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

長い間シロアリの防除には毒性の強い薬剤が使われてきており、それによるシックハウス症候群など人体や環境への影響が問題視されてきた。少ない薬剤での防除を行うためには、シロアリの生態に即した適切な施工方法が必要となり、シロアリの生態は種ごとに異なっている。これまで、重要な家屋害虫であるにもかかわらず種が分からないために「ヤマトシロアリ」と一括りになされていた防除が、種を特定できるようになったことで、それぞれの地域に分布する種にあった防除方法を選択でき、効率的な防除につながる。それは減薬剤に繋がると考える。

研究成果の概要(英文)：One of the subterranean termites, Reticulitermes widely distributed in Japan and is one of the most serious pests of woodworks and buildings in the northern temperate zone. The taxonomic and distributional information of the genus is very important because the control strategy of each species depends on the ecological features of each species. However, absence of the taxonomic information is a cause of the delay for the other studies such as ecology, physiology and so on.

In this study, I analyzed three DNA regions, two mitochondrial and one nuclear DNA, of Japanese Reticulitermes and estimated the molecular phylogeny of Reticulitermes in Japan in order to contribute to the taxonomy of the genus. Additionally, the biogeographical perception will be acquired by combining the data of molecular phylogeny and geology.

研究分野：昆虫分類学

キーワード：昆虫分類 生物地理 家屋害虫 分子系統学 形態

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

#### (1) ヤマトシロアリ属は日本で重要な木材害虫である

シロアリ目は主に熱帯に生息するが、その中でもヤマトシロアリ属は温帯域に分布の中心を置くグループで、北半球の温帯域では深刻な木材害虫として経済的被害は甚大である。日本でも北海道中部を北限とする日本全域に生息しており、イエシロアリと並んで防除の対象となっている。年間の被害総額は3,800億円と推定され、火災による被害の倍以上に相当すると言われている。

#### (2) ヤマトシロアリ属の分類の現状

シロアリは、社会性昆虫であるために単独飼育や交尾実験が困難であること、不完全変態昆虫であるために野外個体のほとんどが幼虫であることなどから、分類が非常に難しく、世界的にみてもシロアリの分類学者はほとんどいない。従って経済的に重要な昆虫にも関わらず、分類に多くの問題点を残しているグループである。

日本産ヤマトシロアリ属においても Takematsu(1999)において再検討が行われる前までは、日本に生息するヤマトシロアリ属は1種のみと考えられており、生態的な研究でも防除手法でも、琉球から北海道まで同じ種として扱われていた。その後、日本に生息するヤマトシロアリ属は、奄美大島以北と以南で形態が異なり、琉球列島で種分化が進んでいることが示唆され、現在日本には7種が分布するとされている(Takematsu, 1999)。しかし、Takematsu(1999)の研究は、調査地域が狭く、サンプル数も少なかった事から、分類形質が曖昧で、実際の種特定に利用できるまでに至っていない種が多くある。

#### (3) 分類の遅れによる問題

シロアリは種や生息域によって加害生態が大きく異なるため、防除において、防除対象の種を特定できて始めて防除対策に着手できるようになるが、シロアリの分類学者が少ないために種の特定が遅れることがしばしばある。これには分類学的な記載がなされていないという問題だけでなく、種同定の作業ができないという問題も含まれる。さらに、種の記載、同定ができない事は、誤ったシロアリの防除対策を行ってしまう事にもつながる。従って、正確な種分類および誰でも分かる種特定法の提供は急務である。

### 2. 研究の目的

ヤマトシロアリ属の確実な防除及び多くの研究の発展のためには、正確な種分類、分布域の特定および誰でも分かる種特定法の提供が急務である。そこで本研究では、日本全域から採集したヤマトシロアリ属のDNA分析による分子系統解析、体表炭化水素および生物検定による同胞認識機構解析、比較形態観察を行うことで、日本産ヤマトシロアリ属の種分類および分布を明らかにし、明確な種同定のための指標を提示する。さらに、それぞれの種の加害生態を明らかにすることで、ヤマトシロアリ属の日本における防除体系の基礎を提供する。

#### (1) 日本にはヤマトシロアリ属が何種生息するのか？

これまでに採集・保管している標本に加え、新たにサンプリングを行い、日本全域からのサンプルを得る。これらのミトコンドリア(16SrRNA および COII) 及び核 DNA (ITS1)の領域における遺伝的多様性の検出及び種識別に有効とされる体表炭化水素組成分析をもとに、日本産ヤマトシロアリの多型検出を行い、それぞれの多型について形態的相違を明らかにする。

#### (2) 明確な種同定のための指標の提供

分類の専門家が不在の場合でも正確な種同定が可能になるためには、ルーチン化された作業での同定作業法の構築が有効である。そこで、上記で検出された多型の遺伝的多様性を利用して種識別プライマーを作成し、遺伝的な種識別を可能にする。

#### (3) どこに分布するのか？

日本各地のシロアリに対してこの種識別プライマーを用いての遺伝分析及び形態比較をすることで、全種の分布状況を明らかにする。

#### (4) 各種の加害生態の解明

同所的に複数種が生息する場合、それらの分布は両種の生態的な特性によって変化する可能性がある。複数種の棲み分けと競争には、それぞれの生息環境における資源利用能力と両者の同胞認識行動の強弱が関わっている(Kambara & Takematsu, 2009; Takematsu & Kambara, 2012)。そこで、それぞれの種の木材に対する加害生態を、木材摂食能力と蟻道構築速度の2つのパラメーターを中心に明らかにする。更に、同所的分布を示す種については、それらが個別に有する生態的特徴を比較し、同地域での棲み分け、今後の分布拡大推定を行う。これによって、種特異的な防除法の採用が可能になる。

### 3. 研究の方法

#### (1) 分布調査及びサンプリング

北限の北海道から最西端の与那国島、小笠原諸島においてサンプリングを行った。特に、琉球列島の島々はほぼ全てを網羅するように採集を行った。採集したヤマトシロアリ属は形態観察用に80%エタノールに保存し、DNA分析用にアセトンに保存した。採集地点の位置情報を記録した。

(2) 分子系統解析およびハプロタイプ分析

(1)のサンプルに対して 16SrRNA、COII、ITS1 領域において DNA 分析を行い、配列を決定後、これらの結果を用いて分子系統解析、ハプロタイプ分析を行った。

(3) *Reticulitermes speratus* の制限酵素を利用した亜種識別と分布マップ作成

日本本土には *R. speratus* のみが分布し、現在 3 亜種に分けられているが、その分布境界や形態的な識別法は明らかになっていない。(1)で得られた配列をもとに、亜種の識別に有効な制限酵素を選定し、切断後のバンドパターンを比較することで、日本における亜種組成・分布マップを作成した。

(4) 各種の木材加害生態の相違

シロアリの加害には自由水の存在が重要になる。そこで、木材加害生態として、環境水分の存在が加害および生存に与える影響を調べた。湿度の設定は塩類飽和溶液法を用いて行い、20%RH, 58%RH, 98%RH におけるヤマトシロアリ、カンモンシロアリ、オキナワシロアリの生存率、加害速度、選好性を調べた。

4. 研究成果

日本産ヤマトシロアリ属の分類、分布、形態、加害特性に関して多くの新しい知見が明らかになった。以下に項目ごとに、成果をまとめる。

(1) 種構成及び分布

①日本列島におけるヤマトシロアリ属の種構成及び分布

16SrRNA、COII、ITS1 の 3 領域を用いた分子系統解析を行った結果、従来の分類体系とは異なる知見が得られた：従来、原亜種、四国亜種、九州亜種の 3 つに分けられてきた *R. speratus* は遺伝的には 2 つに分けられた；沖永良部島の一部の *R. amamianus* は *R. okinawanus* に含まれた；*R. miyatakei* は 2 亜種に分けられた；*R. kanomnensis* は 2 亜種に分けられた；伊是名島の一部の *R. okinawanus* は *R. okinawanus* と *R. miyatakei* の中間系統が含まれた；宮古島には *R. okinawanus* と *R. yaeyamanus* が生息していた。また新知見として、小笠原には *R. speratus* のほかに *R. okinawanus* が、与論島、座間味島、渡嘉敷島、久米島にも *R. okinawanus* が分布していることが分かった。また分岐年代推定の結果、27Ma-5Ma の前期鮮新世までに現在の分類体系の集団構造ができていたことが示唆された。日本産 *Reticulitermes* 属は、約 1.5Ma の更新世初期トカラギャップ形成以前に現在の分類体系の集団構造ができ、トカラギャップ形成時期に島独自のハプロタイプ集団が形成され、その後の約 0.02Ma の更新世末期ケラマギャップ形成以降、現在の分布域への分布形成に至ったと考えられた。

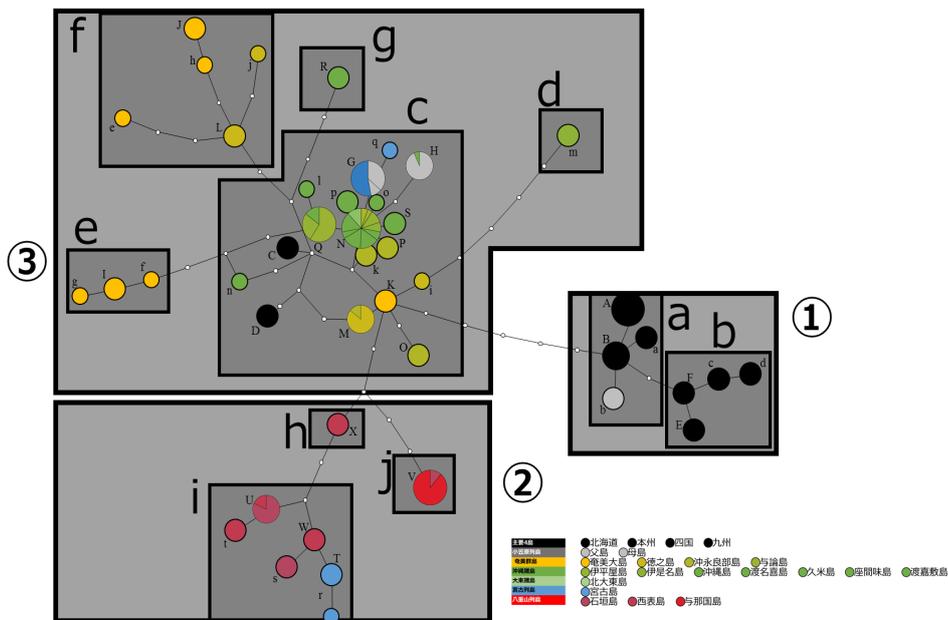


図. 16SrRNA 塩基配列を用いたハプロタイプネットワーク

各ハプロタイプ付近のアルファベットはハプロタイプ名を示す。

これまでの分類体系

1. *Reticulitermes speratus*  
*R. s. speratus*  
*R. s. leptolablaris*  
*R. s. kyushuensis*
2. *Reticulitermes kanmenesis*
3. *Reticulitermes miyatakei*
4. *Reticulitermes amamianus*
5. *Reticulitermes okinawanus*
6. *Reticulitermes yaeyamanus*
7. *Reticulitermes flviceps*

本研究より推定される分類体系

1. *Reticulitermes speratus*  
*R. s. speratus*  
*R. s. kyushuensis*
2. *Reticulitermes miyatakei*
3. *Reticulitermes flviceps*  
= *R. amamianus*  
= *R. okinawanus*  
= *R. yaeyamanus*  
= *R. kanmonensis*

## ② ヤマトシロアリ *R. speratus* の亜種及び分布

分子系統解析により、従来、原亜種、四国亜種、九州亜種の 3 つに分けられてきたが、DNA 分析の結果から、*R. speratus* は *R. s. speratus* と *R. s. kyushuensis* の 2 亜種に分類されることがわかった。また、この *R. speratus* 2 亜種はミトコンドリア DNA COII 領域に制限酵素 SspI を用いて制限酵素処理することで *R. s. speratus* は切断されるが *R. s. kyushuensis* は切断されないことから、*R. speratus* の制限酵素処理によるバンドパターン識別が可能になった。その結果、*R. s. speratus* は北海道から鳥取県にかけて分布し、四国地方においては愛媛県の一部を除くほぼ全域に分布していることが分かった。*R. s. kyushuensis* は三重県から鹿児島県にかけて分布し、四国地方においては全域に分布していることが分かった。また、*R. s. speratus* と *R. s. kyushuensis* は近畿地方の一部、四国地方の全域において同所的に分布していることが明らかとなった。

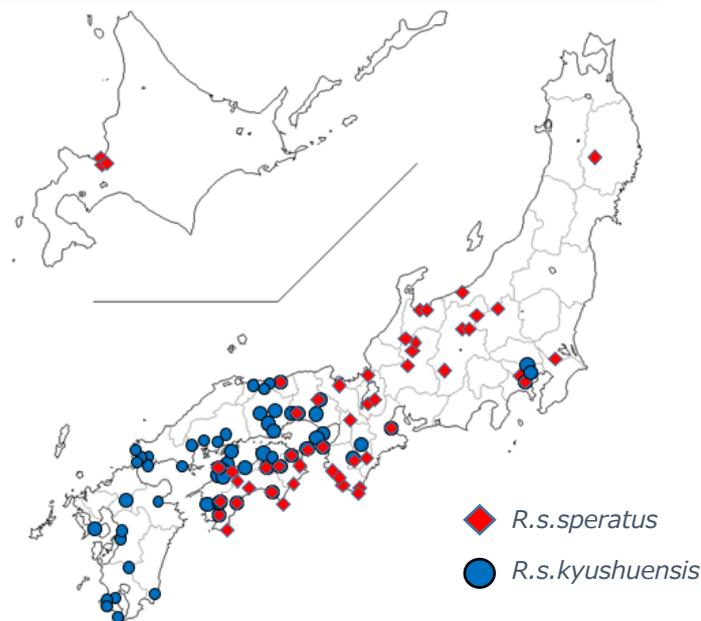


図. ヤマトシロアリ *R. speratus* 2 亜種の分布

## ③ 移入種の種分類及び分布

移入種と思われるヤマトシロアリ属は、本州山口県および小笠原諸島に見られた。

山口県の *R. kanmonensis* カンモンシロアリは、従来から南方からの移入種と言われていたが、その起源は明らかでなかった。本研究で、*R. kanmonensis* は、沖縄に生息する *R. okinawanus* と極めて近縁で、さらに韓国や台湾にも分布することがわかった。

海洋島である小笠原諸島に生息するヤマトシロアリ属は移入種である。移入元の特定を行った結果、2000 年以前の父島でのサンプルは本州に生息する *R. speratus* と同じだが、近年の母島からのサンプルは、*R. okinawanus* と同じであった。さらにハプロタイプは沖縄本島のサンプルと非常に似ていたため、沖縄本島からの植樹などにより侵入したことが考えられた。

## (2) 形態形質評価

ヤマトシロアリ属の分類形質として従来、前胸背板および上唇の毛の配列、咽喉板や頭部の形状などが使われている。それらの形質分布を分子系統樹と比較した結果、前胸背板の毛の本数や咽喉板は有効な分類形質であることがわかったが、上唇の毛の配列、頭部、大顎の形状は変異が多いため、分類形質として利用できないことがわかった。特に、前胸背板の毛の本数は、*R. speratus* を他種と識別できるだけでなく、*R. speratus* 亜種を形態的に分類できる可能性が示唆された。

## (3) 環境湿度がヤマトシロアリの生存に与える影響

ヤマトシロアリは、生態的に「地下シロアリ」というグループに分けられ、生存や摂食には環境中に自由水があることが必須である。従って、いずれの種も高い湿度環境(98%RH)では摂食量・生存率共に高かったが、湿度が低くなると摂食量は減少し、実験終了前に死滅した。しかし、種によって低い湿度に対する耐性が異なり、ヤマト、カンモン、オキナワの順に高い相対湿度を選好し、カンモン、オキナワ、ヤマトの順に低い相対湿度に耐性を有した。この結果は、これらの種が同所的に分布する地域での種別の防除法を適用するとき有効な知見となる。

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 4件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Neoh Kok-Boon, Bong Lee-Jin, Muhammad Ahmad, Itoh Masayuki, Kozan Osamu, Takematsu Yoko, Yoshimura Tsuyoshi	4. 巻 12
2. 論文標題 The effect of remnant forest on insect successional response in tropical fire-impacted peatland: A bi-taxa comparison	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0174388
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0174388	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 Ohashi Mizue, Maekawa Yuko, Hashimoto Yoshiaki, Takematsu Yoko, Hasin Sasitorn, Yamane Seiki	4. 巻 117-118
2. 論文標題 CO <sub>2</sub> emission from subterranean nests of ants and termites in a tropical rain forest in Sarawak, Malaysia	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Soil Ecology	6. 最初と最後の頁 147 ~ 155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsoil.2017.04.016	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 Tatsuya Ide, Natsumi Kanzaki, Wakako Ohmura, Yoko Takematsu and Kimiko Okabe	4. 巻 19
2. 論文標題 The Species Status of <i>Incisitermes</i> spp. (Isoptera: Kalotermitidae) in Japan.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Entomological Sciences	6. 最初と最後の頁 444-447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ens.12217	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 Chouvenc T., Li H.-F., Austin J., Bordereau C., Bourguignon T., Cameron S., Canello E., Constantino R., Costa-Leonardo A., Eggleton P., Evans T., Forschler B., Grace J., Husseneder C., Krekek J., Lee C.-Y., Lee T., Lo N., Messenger M., Takematsu Y., 他11名	4. 巻 41
2. 論文標題 Revisiting <i>Coptotermes</i> (Isoptera: Rhinotermitidae): a global taxonomic roadmap for species validity and distribution of an economically important subterranean termite genus.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Systematic Entomology	6. 最初と最後の頁 299-306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/syen.12157	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 Yashiro T., Y. Takematsu, N. Ogawa & K. Matsuura	4. 巻 4604
2. 論文標題 Taxonomic assessment of the termite genus <i>Neotermes</i> (Isoptera: Kalotermitidae) in the Ryukyu-Taiwan Island arc, with description of a new species.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Zootaxa	6. 最初と最後の頁 549-561
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11646/zootaxa.4604.3.10	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 C.-C. Wu, C.-L. Tsai, W.-R. Liang, Y. Takematsu & H.-F. Li	4. 巻 183
2. 論文標題 Identification of Subterranean Termite Genus, <i>Reticulitermes</i> (Blattodea: Rhinotermitidae) in Taiwan.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Economic Entomology	6. 最初と最後の頁 2872-2881
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jee/toz183	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

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 中野由布妃・荒木颯太・杉浦正明・竹松葉子
2. 発表標題 小笠原諸島の父島および母島におけるヤマトシロアリ属の分布について
3. 学会等名 第30回日本環境動物昆虫学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹松葉子・下村 風花・高倉 武・三浦一芸
2. 発表標題 本州列島におけるヤマトシロアリの種組成と分布
3. 学会等名 日本昆虫学会第77回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名	Paulus MELENG, Takao ITIOKA, Satoshi YAMASHITA, K. Takenaka TAKANO, Fujio HYODO, Mohamad Nafri ALI, Mohamd Yazid HOSSMAN, Reiichiro ISHII, Shoko SAKAI, Keiko KISHIMOTO-YAMADA, Yoko TAKEMATSU, Fatimah MOHAMAD, Masato ITO and Kaoru MAETO
2. 発表標題	Effects of remnant forests on the assemblage of parasitoid wasps in the surrounding areas in a Bornean tropical rainforest area.
3. 学会等名	日本昆虫学会第77回大会
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	内藤 龍太・杉本 博之・宗野 俊平・竹松 葉子
2. 発表標題	新規シロアリ用バイト剤と市販エアゾール剤のヤマトシロアリの駆除効果
3. 学会等名	第62回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	Yoko Takematsu, Paulus Meleng, Fatimah Bte Mohammad, Mohamad Nafri Bin Ari, Kok-Boon Neoh, Tsuyoshi Yoshimura and Takao Itioka
2. 発表標題	Effect of the distance between natural forest and Acacia forest on termite diversity in acacia plantation forests.
3. 学会等名	XXV International Congress of Entomology (国際学会)
4. 発表年	2016年

1. 発表者名	P. Meleng, T. Itioka, S. Yamashita, M. Fatimah, M. Nafri Ali, H. Mohamad Yazid., K. T. Takano, F. Hyodo, Y. Takematsu, M. Ito and K. Maeto
2. 発表標題	Effects of isolated reserved forests on the assemblage of parasitoid wasps in the surrounding areas.
3. 学会等名	International Symposium. Frontier in Tropical Forest Research: Progress in Joint Projects between the Forest Department Sarawak and the Japan Research Consortium for Tropical Forests in Sarawak. (国際学会)
4. 発表年	2015年

1. 発表者名 Y. Takematsu, P. Meleng, M. Fatimah, M. Nafri Ali, K. B. Neoh, T. Yoshimura and T. Itioka
2. 発表標題 Effect of the distance between natural forest and Acacia forest on termite diversity in Acacia plantation forests.
3. 学会等名 International Symposium. Frontier in Tropical Forest Research: Progress in Joint Projects between the Forest Department Sarawak and the Japan Research Consortium for Tropical Forests in Sarawak. (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 高倉武・竹松葉子・三浦一芸
2. 発表標題 小笠原におけるReticulitermes属の形態と系統関係
3. 学会等名 日本応用動物昆虫学会日本昆虫学会中国支部合同支部例会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 竹松葉子・高倉 武・三浦一芸
2. 発表標題 琉球産ヤマトシロアリ属の分子系統に基づく分類形質評価
3. 学会等名 日本昆虫学会第76回大会・第60回日本応用動物昆虫学会大会合同大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 高倉 武・竹松葉子・三浦一芸
2. 発表標題 琉球産ヤマトシロアリ属のミトコンドリア及び核DNAに基づく分子系統解析と琉球列島における分布形成
3. 学会等名 日本昆虫学会第76回大会・第60回日本応用動物昆虫学会大会合同大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 井手竜也・神崎菜摘・大村和香子・竹松葉子・岡部貴美子
2. 発表標題 Incisitermes属(シロアリ目:レイビシロアリ科)の国内定着状況に関する新知見
3. 学会等名 日本昆虫学会第76回大会・第60回日本応用動物昆虫学会大会合同大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 矢代敏久・宮国泰史・松浦健二・竹松葉子
2. 発表標題 シロアリ目における隠蔽種の発見:日本・台湾産コウシュンシロアリ属の分類学的再検討
3. 学会等名 日本昆虫学会第76回大会・第60回日本応用動物昆虫学会大会合同大会
4. 発表年 2016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
---------------------------	-----------------------	----