

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：14403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23770022

研究課題名(和文)好蟻性昆虫がアリ社会に侵入するための多様な化学的戦略

研究課題名(英文)Diverse chemical strategies of myrmecophilous insects to exploit ant-plants

研究代表者

乾 陽子 (Inui, Yoko)

大阪教育大学・教育学部・准教授

研究者番号：10343261

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：アリ植物は、被食防衛を特定のアリ種に依存する植物種であるが、その防衛アリに攻撃されること無く、アリ植物を利用する好蟻性昆虫がいる。特にオオバギ属を食すムラサキシジミ幼虫と、着生シダのアリ植物に住まう好蟻ゴキブリを対象に、彼らがアリを化学擬態しているか確かめた。その結果、宿主のアリには非常に攻撃されにくいという性質はどの昆虫も同じであったが、化学的な様相は、全くアリを化学擬態しない種、そもそも炭化水素を欠く種、炭化水素組成をアリにうつしている種など、多様であった。これまで化学擬態は好蟻性昆虫に普遍的戦略と考えられてきたが、化学的戦略は本課題で初めて発見された戦略も含め、遥かに多様である。

研究成果の概要(英文)：Certain plants have a mutualistic association with ants and are generally well-protected from herbivore attacks by the guardian ant. However, larvae of Oakblue butterflies on Macaranga ant-plants and a cockroach on epiphytic fern ant-plants survive and develop without being attacked by the ants living on the plant (known as plant-ant species). Chemical analyses of cuticular hydrocarbons (chemicals that play an important role in ant communication) and behavioral experiments revealed that although the responses of the plant-ants to the myrmecophiles varied considerably depending on the insect species, attacks by plant-ant species on the normal plant host were infrequent. Chemically speaking, however, *A. dajagaka* matched well the host plant-ants, *A. amphimuta* did not match, and unexpectedly, *A. zylda* lacked hydrocarbons. The cockroach, even more surprising, imposed its own chemical profile to the ants. Chemical strategy of myrmecophiles may be far more diverse than previously thought.

研究分野：chemical ecology

キーワード：chemical mimicry myrmecophytes myrmecophile tropical rain forest species diversity

1. 研究開始当初の背景

アリ類は真社会性昆虫であり、同じコロニーの仲間個体と他者とを化学的に識別する能力に長けている。一般的には仲間以外の個体を攻撃・排除し、巣や採餌場所を排他的に占有している。

アリ類は、仲間と他者を識別する手法として、体表の炭化水素群を利用している。昆虫の体表には、物理的な防護膜として様々な炭化水素があり、種によって組成や組成比が異なる。アリ類は、この炭化水素の違いを化学的に認識していると言われている。

一方、こうしたアリの仲間認識システムは、他種昆虫に体表成分の模倣や攪乱(化学偽装)をされてしまうと、仲間と誤認し巣への侵入を許してしまう脆弱性も孕む。昆虫のなかには、アリの巣へ侵入し、よく防衛された快適な住空間を得て、時にはアリに給餌や移動も依存する種が多く知られている。これらは好蟻性昆虫と呼ばれる。好蟻性昆虫にとって、宿主アリに受容されるためには、宿主アリの仲間認識システムを打破するための化学偽装が欠かせない。さまざまな分類群の好蟻性昆虫で、宿主アリを化学偽装している例が知られており、体表炭化水素の化学偽装は好蟻性昆虫にとって一般的かつ必須であると考えられてきた。

熱帯地域に分布するアリ植物は、アリによって良好に被食防衛されているが、防衛アリに攻撃されずにアリ植物を利用する昆虫が知られている。これらの昆虫も、これまでに知られている好蟻性昆虫と同様に、アリを化学的に偽装して攻撃を免れている可能性はある。しかし、報告者によって、アリ植物を専食するシジミチョウ種や、アリ植物内で異常に高い現存量で共棲するゴキブリについては、一般に知られている好蟻性昆虫と、その生態が大きく異なり、化学的にも化学偽装ではないアリ社会への侵入機構の存在が示唆されてきた。

2. 研究の目的

アリ類は巣仲間を化学的に認識し、仲間以外の個体を攻撃するため、アリ巣に寄生する好蟻性昆虫は、宿主アリを化学的に騙す(化学偽装)必要がある。多くは体の接触により、宿主アリに特有の体表成分を纏うことで偽装する。しかし、本研究対象の好蟻性昆虫は、全く新しい方法で宿主アリの仲間認識システムを打破していると推測されていた。そこで、これらの昆虫と宿主アリの体表成分を分析し、アリの行動への作用を調べる。これにより、新しい化学偽装法を報告し、化学偽装法が従来考えられてきたよりも多様であることを示す。

3. 研究の方法

対象としたのは、オオバギ属アリ植物を専食するムラサキシジミ属のチョウの幼虫(3種)と、ウラボシ科着生シダのアリ植物にの

み生息するユモトゴキブリである。シジミチョウ幼虫は、野外における個体群密度がかなり低く、複数種が同所的に分布しているため、多くのサンプルを得るために熱帯雨林の調査地に何度も赴くことで分析サンプルや行動実験の試行回数の増強をはかった。ゴキブリは着生シダというその生息場ゆえ、林冠部での高所作業を伴い、調査地の林冠アクセスシステムや、共同研究者らとの連携作業によって、シダの採集を試みた。

これらのサンプリング作業により得た虫体より、体表成分を抽出し、GC および GC-MS 分析に供し、得られた成分の組成比に基づく多変量解析によって宿主アリ類との化学的類似性を検討した。また、各種昆虫の生体ならびに、体表抽出成分を塗布したダミー虫体に対する、宿主アリ類の反応を行動試験によって評価した。

4. 研究成果

まず、野外の着生シダから採取してすぐのユモトゴキブリと宿主であるシダスミシリアゲアリのワーカーは、その体表に有する炭化水素の組成や組成比が非常に似通っていた。一方で、普通種の *Blatta* 属のゴキブリや、シダスミシリアゲアリに攻撃される樹上の他種のアリは、それぞれの種に特異な全く別の炭化水素組成を示した。次に、採取後にアリとゴキブリを別の容器に分け入れ、しばらくの間互いの種から隔離して飼育し、体表炭化水素の組成がどのように変化するかを追った。すると、ユモトゴキブリの体表炭化水素の組成や組成比は全くと言っていい程変化せず、量的にも維持された。つまり、この組成はゴキブリが生合成している本来の化学的なプロファイルだと思われた。一方、宿主ワーカーのほうは1週間も経たないうちに体表炭化水素のうち多くの成分が急減し、総量も低下した(乾ら、未発表、投稿中)。これらの結果は、2種共通の化学プロファイルが、もともとゴキブリ由来のもので、アリの体表へとうつついていたことを示唆している。しかし、体表炭化水素の化学プロファイルを巣の仲間認識に利用しているのはアリの方であり、まったく別の種で社会寄生者であるはずのユモトゴキブリの成分に塗れることを許すなど、これまでの知見からは考えられないことである。しかし、ユモトゴキブリが圧倒的な個体数で巣内に生息することや(Inui et al. 2009) 1個体当たりの炭化水素の総量が大きかったことなどから、着生シダ基部の巣内部はユモトゴキブリ由来の炭化水素類が蔓延していることは間違いなさそうである。隔離後、シダスミシリアゲアリに残った成分は、一般にシグナル性が低いとされる直鎖飽和炭化水素がほとんどであった。またシダスミシリアゲアリはコロニーが違って種内では攻撃をほとんどしなかった。これらのことから、シダスミシリアゲアリはそもそも特定の組成や組成比に反応

して同胞認識をするというよりは、単に馴染みのない異質な組成や組成比に対して速やかに攻撃をするという機序により樹冠に君臨しているのかもしれない。

次に、オオバギ属アリ植物を専食するシジミチョウ科ムラサキシジミ (*Arhopala*) 属の幼虫であるが、複数の種のムラサキシジミ幼虫と、その寄主植物種に住む防衛アリ種とで、体表炭化水素を分析したところ、化学擬態が見られたのはたったの1種だけで、他の種はアリとは似ても似つかぬ化学プロフィールを示した。具体的には、*A. dajagaka* の幼虫が、その体表炭化水素の組成において、宿主であるシリアゲアリ種と、そのコロニーごとの差異をも反映した一致を示した。一方、*A. amphimuta* の幼虫は、宿主アリとは異なる炭化水素類が優占する化学プロフィールを示した。この種については、いまだその機能が未解明な好蟻性器官（尾上の突起など）が、アリの攻撃宥和になんらかの役割を果たしていると考えられる。そして、最もおどろくべきことに、*A. zylde* の幼虫の体表からは、炭化水素がほぼ全く検出されなかった。どの昆虫であっても、体内水分の保持や撥水といった一義的機能能のために、体表脂質は有しているものであり、その主成分は炭化水素類であることから、炭化水素を欠くといったプロフィールは昆虫として例外的な特長である。さらに、昆虫としては他に例を見ないテルペン類が体表成分の主成分を占めていることが、化学分析を進めていくうちにわかってきた（乾、未発表、現在物質の構造決定を慎重に進めている）。このテルペン類が、この種の寄主植物であるオオバギ種の葉面ワックスと同成分である可能性がでてきており、もしそうだとすれば、本研究が昆虫による「植物を化学擬態」する初めての実証例となる。以上のように、ムラサキシジミという一つの属内に、アリ防衛をかいくぐってアリ植物上に侵入するための化学的な戦略に大きな変異が存在するということである。そして、化学擬態をしていないことが分かった種は、ユモトゴキブリの例と同様に、これまでに全く知られていない化学的戦略を採っていることが分かった。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計7件)

Inui, Y., Shimizu-kaya, U., Okubo, T., Yamasaki, E. & Itioka, T. (2015) Various chemical strategies to deceive host ants in three *Arhopala* species (Lepidoptera: Lycaenidae) exploiting on *Macaranga* myrmecophytes. Plos One 10(4): e0120652 (doi: 10.1371/journal.pone.0120652)

Ueda, S., Nagano, Y., Kataoka, Y., Komatsu, T., Itioka, T., Shimizu-kaya, U., Inui, Y. & Itino, T. (2015) Congruence of microsatellite and mitochondrial DNA variation in acrobat ants (*Crematogaster* subgenus *Decacrema*, Formicidae: Myrmicinae) inhabiting *Macaranga* (Euphorbiaceae) myrmecophytes. Plos One 10(2): e0116602 (doi: 10.1371/journal.pone.0116602)

Maruyama, M., Bartolozzi, L., Inui, Y., Tanaka, H. O., Hyodo, F., Shimizu-kaya, U., Takematsu, Y., Hishi, T. and Itioka, T. (2014) A new genus and species of myrmecophilous brentid beetle (Coleoptera: Brentidae) inhabiting the myrmecophytic epiphytes in the Bornean rainforest canopy. Zootaxa 3786(1): 73-78.

Shimizu-kaya, U., Okubo, T., Inui, Y., and Itioka, T. (2013) Potential host range of myrmecophilous *Arhopala* butterflies feeding on *Macaranga* myrmecophytes. Journal of Natural History 47: 2707-2717 (doi: 10.1080/00222933.2013.791943)

Yamasaki, E., Inui, Y., Sakai, S. (2013) Production of food bodies on the reproductive organs of myrmecophytic *Macaranga* species (Euphorbiaceae): effects on interactions with herbivores and pollinators. Plant Species Biology 29(3):232-241 (doi: 10.1111/1442-1984.12015)

Shimizu-kaya, U., Okubo, T., Inui, Y., Yago, M. and Itioka, T. (2013) Myrmecoxeny in *Arhopala zylde* (Lepidoptera, Lycaenidae) larvae feeding on *Macaranga* myrmecophytes. Entomological News: 123(1): 63-70 (doi: http://dx.doi.org/10.3157/021.123.0115)

Ueda S., Okubo, T., Itino, T., Shimizu-kaya, U., Yago, M., Inui, Y., Itioka, T. (2012) Timing of butterfly parasitization of a plant-ant-scale symbiosis. Ecological Research 27(2): 437-443.

〔学会発表〕(計4件)

乾陽子・田中洋・市岡孝朗「熱帯雨林の林冠部で着生シダ内に住む攻撃的なアリ類に襲われてでも調べたいこと」企画集会 T11「木に登って調べる!~“Tree Climbing”の生態学への応用~」招待講演(2015年3月)第62回日本生態学会大会

乾陽子・田中洋・市岡孝朗「着生および垂高木のアリ植物に見られる共生系を維持する化学的機構」シンポジウム S-07「熱帯雨林林冠の節足動物の群集構造と多様性はどこまで分かったか」主催・講演(2014年3月)第61回日本生態学会大会

市岡孝朗 (Takao ITIOKA)
京都大学人間環境学研究科教授
研究者番号：40252283

乾陽子・清水加耶・市岡孝朗「東南アジア
熱帯のアリ植物を寄主とするシジミチヨ
ウの化学偽装」一般講演(2013年3月)
第57回日本応用動物昆虫学会大会

乾陽子「アリ 植物の共生系に便乗する
好蟻性昆虫たちの化学的戦略」小集会
「ア리를めぐる生物種間の相互作用」招
待講演(2012年3月)第56回日本応用動
物昆虫学会大会

〔図書〕(計1件)

乾陽子(翻訳)(2013)第IV部 アマゾンアリ
~奴隷狩りをするアリ~ pp.175-200 アリた
ちとの大冒険: 愛しのスーパーア리를追い
求めて(著 マーク・W・モフェット、監
訳 山岡亮平・秋野順治)化学同人

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

“Butterflies deceive ants using
chemical strategies”
Phys.org サイエンスニュース記事
International Business Times 記事
しんぶん赤旗 科学面記事 など多数

6. 研究組織

(1) 研究代表者

乾陽子 (Yoko INUI)
大阪教育大学教養学科准教授
研究者番号：10343261

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者