

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18580056  
 研究課題名（和文） キタドロバチーヤドリコナダニの共進化をモデルとしたパラサイト制御機構の解明  
 研究課題名（英文） Parasite control measures based on coevolution model of *Allodynerus* wasps and *Ensiella* mites  
 研究代表者  
 岡部 貴美子（OKABE KIMIKO）  
 独立行政法人森林総合研究所・森林昆虫研究領域・チーム長  
 研究者番号：20353625

## 研究成果の概要：

アトボシキタドロバチと共生するヤドリコナダニは、ハチがダニを巣へ運ぶためのアカリナリウム（ダニポケット）を持っていることから相利共生者であると考えられてきた。しかし、育房内ではハチ幼虫の体液を吸う寄生者だった。このダニは自然に侵入する頭数のダニが寄生しても、幼虫の死亡率、寄生されたメス成虫の産卵率や営巣成功率に悪影響は認められなかった。このことから片利共生的な寄生が示唆されたが、ハチ幼虫が前蛹～蛹前期という特定の時期に育房に寄生蜂が侵入すると、これを攻撃することがわかった。寄生蜂もダニに反撃し両者は一方が全滅するまで戦うが、寄生蜂が一定の時この勝率はダニ数に依存することがわかった。アトボシキタドロバチよりもダニの出入り口が大きなアカリナリウムを持つアジアキタドロバチのヤドリコナダニの育房侵入数は多いことから、アカリナリウム口の大きさが侵入ダニ数を寄生する可能性が明らかとなった。従って、アカリナリウムは寄生者のふるまいもするが幼虫をガードする相利共生者のダニを安全に、かつ最適数を育房に運ぶために発達したことが示唆された。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,600,000	0	1,600,000
2007年度	700,000	210,000	910,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	450,000	3,550,000

## 研究分野：農学

科研費の分科・細目：農学・応用昆虫

キーワード：共生・カリバチ・コナダニ・寄生・相利共生・寄生率・アカリナリウム・寄主特異性

## 1. 研究開始当初の背景

ドロバチは、農林業害虫となる食葉性のガなどの幼虫を狩って巣に貯え子の餌とするカリバチであり、天敵として高い能力を持つ。

植物体の既存の穴（カミキリの脱出口など）を利用したり、木本あるいは木質化した植物の髄を掘って巣を作ることから、里山環境に普通に見られるものも多い。

これらドロバチの一部に見られるアカリナリウムは特異な形態的特徴を持ち、そこに特定の種のダニが便乗していることは古くから知られてきた。便乗したダニはハチが営巣する際に巣に侵入して、生まれてくるハチ幼虫に寄生する。そしてこのハチが羽化するときに合わせて便乗ステージに移行し、アカリナリウムに侵入する。このようにドロバチと寄生ダニは密接な関係を持つにもかかわらず、アカリナリウムの適応的意義についての仮説がテストされることはなく、両者の相利共生だけが信じられていた。

## 2. 研究の目的

アカリナリウムの適応的意義に関する従来の仮説は、ダニが共生することが有利（ダニが病原菌を除去するなど）なので、ダニを新しい巣に確実に運搬するために発達したというものである。しかしこのダニはホストの体液を摂取する寄生者であり、ダニが有用であるとする説は反論に値する。しかも、アカリナリウムを特異的に利用しているのは寄生性のダニのみである。そこで発達した後体部のアカリナリウムに注目し、新たな仮説としてアカリナリウムはダニを選択的に定着させるために発達し、徐々に出入り口が狭くなってダニが新たな育房に入る数をコントロールすることとなったという仮説を提出し、検証する。このことにより、キタドロバチとヤドリコナダニの共生関係の進化について解明する。

## 3. 研究の方法

アトボシキタドロバチ（最も発達したアカリナリウムを持つ；以後アトボシとする）とアジアキタドロバチ（最も原始的なアカリナリウムを持つ；以後アジアとする）それぞれにおいて、(1)ダニの寄生率、(2)ダニの生活史、(3)ダニの数がホストに与える影響を解明し、(4)ダニと他の寄生者との相互関係がホストに与える影響について一部を解明することで、それぞれにおけるダニがホストに与える影響を明らかにする。最終的に、両者間でそれぞれの項目を比較し仮説の検定を行う。

### (1) アジアキタドロバチについて

アジアでは、ハチの分布が確認されている京都府美山町と埼玉県寄居町のプロットに竹筒（直径4～6mm）を束ねた営巣トラップ（以後竹筒トラップとする）を設置し野外で営巣させて、寄生率を調べた。また、これまでハチの分布の記録があるいくつかの地点に竹筒トラップを設置した。アジアキタドロバチヤドリコナダニは未記載であることから、携帯観察を行い、種の記載を行った。

### (2) ダニの生活史について

アトボシは枯れた樹木の枝やセイタカアワダチソウの枯れた茎のように木質化する

草本の髄を掘って営巣する。この習性や生活史は Enslin (1921)などで明らかになっていたので、飼育ケージを開発した。また、自然巣からハチの餌を特定したことにより、飼育が可能になったので、この手法を用いてハチとダニの生活史の同調を調べた。年齢異なるハチ幼虫との交換実験、死亡したハチ幼虫と共生したダニの観察によって、ダニの生活史の同調の程度について詳細を観察した。

### (3) ダニの数がホストに与える影響について

ハチの育房内に入るダニの数がアカリナリウムの形態によって異なるかどうかを検証するための基礎的なデータを得るために、人工飼育および野外の巣におけるダニの平均育房侵入数および最大数を調べた。

この結果をもとに、野外および飼育によって得られた産卵直後の育房に、ほぼ同じステージの育房からダニを集め、30～50頭の過剰な数のダニを定着させた。この巣を25℃で維持し、毎日、ハチの発育と生死を確認した。

### (4) ダニ以外の寄生者とダニとの相互関係について

人工飼育環境下ではダニ以外の寄生者はいないので、この状態と自然巣との間で比較観察を行った。寄生者として、寄生蜂（メリトビアなど）、寄生バエ（ノミバエなど）、ケナガコナダニなどが発見されているので、これらの寄生者を育房内に付け加える操作実験を行った。アトボシについては、ダニと寄生蜂 (*Melittobia acasta*) の両者がいるセルでいずれかの死亡が発見されたので、育房とほぼ同じサイズのアクリル管に、前蛹期のドロバチ幼虫、寄生蜂1頭、ダニ0～10頭を入れ、観察を行った。

## 4. 研究成果

### (1) アジアキタドロバチヤドリコナダニの記載および生態的特徴の解明

未記載種であったアジアキタドロバチを、*Ensliniella asiatica* Abe and Okabe, 2006として初記載した。このダニの第二若虫はキタドロバチヤドリコナダニ属の中では最も原始的であることが示唆されていた、*E. kostylevi*に近似していたが、第4脛節上ソレニジオンφが、より発達していることなどで形態的に区別することができた。また *E. kostylevi*のホストは *Allodynerus rossii*のみであるのに対して、*E. asiatica*のホストはアジアキタドロバチのみであり両者とも寄主特異的であることから、容易に両者を識別することが可能であった。

ホストの育房内に入るダニの数は、アトボシキタドロバチでは平均7頭程度だったが、アジアキタドロバチでは、11頭程度であった。このことは、アカリナリウムの出口の大きさ

に関連しているかもしれない。アジアキタドロバチも、アトボシキタドロバチとほぼ同じ生活史を示すことが明らかとなった。しかしながら、まだ **small male** は発見されていない。ホストの羽化と第二若虫の出現はアトボシキタドロバチとダニと同様、強く同調しており、ダニは、脱皮中のホストのアカリナリウムに殺到した。ホストの雌雄にかかわらず同様の現象が認められた。ダニのセルへの侵入数は平均的にやや多かったものの、ホストの発育に対する負の影響は認められなかった。アトボシキタドロバチヤドリコナダニでも最大侵入数は20頭程度であることから、11頭程度の侵入巣ではホストへの影響は顕在化しないものと考えられる。

(2)アトボシキタドロバチヤドリコナダニの生活史

アトボシキタドロバチヤドリコナダニの生活史について既存のデータ及び飼育結果から解析を行った。ヤドリコナダニは、ホストであるアトボシキタドロバチが産卵～営巢中に育房内に侵入し、2日以内に第三若虫に脱皮する。第三若虫はホストの餌であるキバガ幼虫の体液を吸って発育し、成虫となる。成虫は直ちに交尾するが、交尾を行わなかったメスは卵胎生で息子(幼虫)を産下し、成虫となったこの小型雄と交尾して産卵を開始する。産卵はホストの発育とほぼ厳密に同調しており、成虫が幼虫の段階で死亡した場合は、成虫となったダニは産卵せずに死亡する。また、成虫にホストである幼虫を与えずキバガの幼虫のみを与えても、(死亡しないが)産卵を行わなかった。これらのことから、ダニはホストの発育による生理的な変化によって生活史を同調させていることが強く示唆された(図1)。

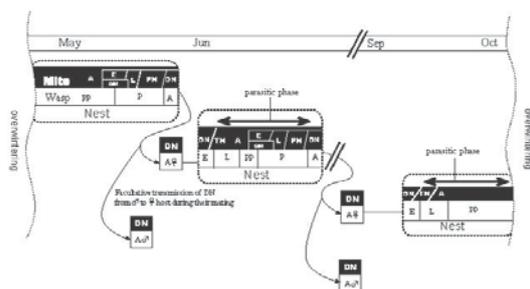


図1 アトボシキタドロバチおよびヤドリコナダニの生活史

(3)ダニの数がホストに与える影響について

アトボシキタドロバチのアカリナリウム発達の意義を解明するために、ハチの育房内のダニ数をコントロールしてハチ幼虫に対するダニ寄生数の影響を調べた。通常野外で見られるダニ寄生数の平均値は1ホスト当たり  $6.45 \pm 4.3$  ( $n=348$ ) だった(図2)。野外で採集した巣の中のセル当たりダニ数は0

～23で、最頻値は5だった。飼育条件下でもダニが便乗しているメスが作ったセル内の平均ダニ数は、野外の平均値と差がなかった。このように操作実験をしない状態では、ダニが共生しているハチ幼虫の死亡率(図3)、成虫になったメスの産卵数および営巢成功率に差はなかった。しかし、セル内のダニ数を40～50頭にすると、ハチ幼虫の発育の遅延または死亡が観察された。これらのことから、アカリナリウムがダニ個体数コントロールに寄与している可能性が強く示唆された。

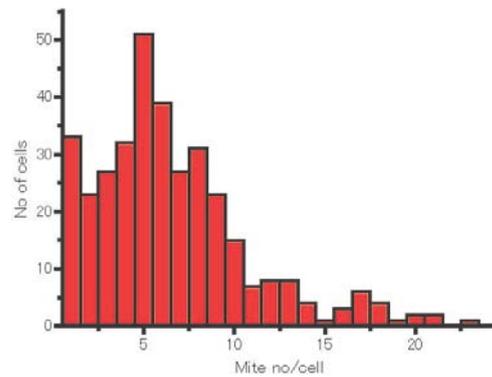


図2 野外における各育房当たりのダニ数(2004～2007)

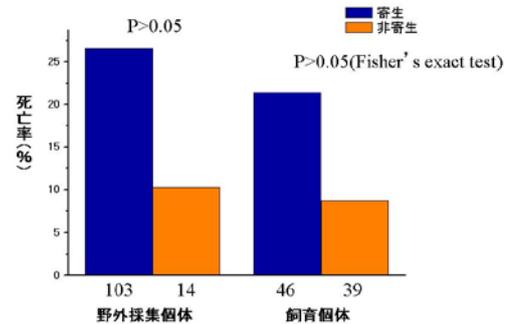


図3 育房内のダニの有無とハチ幼虫の死亡率

(4)ダニ以外の寄生者とダニとの関係について

ヤドリコナダニはドロバチ幼虫の天敵である寄生蜂 *Melittobia acasta* に対して攻撃し、どちらかが全滅するまで戦った。ダニが寄生バチに勝つ(殺す)確率はダニの個体数と共に上昇し、10頭のダニはほぼ100%の確率で1頭の寄生蜂を殺すことがわかった(図4)。ダニ数が増加するに従って寄生蜂に対する攻撃回数は一次関数的に増加したことから、密度効果はないと考えられた(図5) 従ってダニは寄生蜂がいなときは自身がドロバチの寄生者であるが、寄生蜂が出現するとダニとドロバチの関係は相利共生へと

変化することが明らかとなった。すなわちアカリナリウムは共生ダニを巣に運ぶために発達したと結論した。ハチのアカリナリウムには270頭程度のダニが便乗することが可能で、ハチの最大産卵数は26であることから、10頭程度のダニを万遍なく仔の育房に入れるために徐々にアカリナリウムの形態が進化したと推測した。

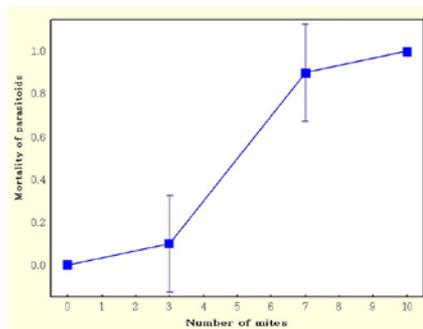


図4 育房内のダニ数と寄生蜂の死亡率

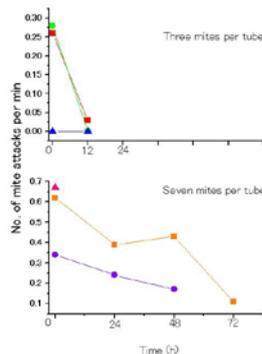


図5 育房内のダニ数と寄生蜂攻撃回数

## 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 8 件)

①岡部貴美子・牧野俊一、寄生者？実はボディガードーハチのアカリナリウム進化の謎ー、生物の科学遺産、63、4、印刷中(掲載確定)、査読無し

②Okabe, K. and Makino, S., Parasitic mites as part-time bodyguards of a host wasp, Proceedings of Royal Society B (Biological Science), 275, 2293-2297, 2008, 査読有り

③Okabe, K. and Makino, S. and Endo, T. Polymorphism in the deutonymph and adult of *Sennertia alfkeni* (Acari:

Chaetodactylidae) associated with the large carpenter bee, *Xylocopa appendiculata circumvolans* (Hymenoptera: Apidae), Journal of Natural History, 42, 1361-1384, 2008, 査読有り

④岡部貴美子、幼虫の体液を吸う寄生ダニ実は、用心棒だった！、自然保護、506、25、2008、査読無し

⑤岡部貴美子、昆虫とダニの目眩く共生関係、昆虫と自然、43、32-34、2008、査読無し

⑥Okabe, K. and Makino, S., Life cycle and sexual mode adaptations of the parasitic mite *Ensliniella parasitica* (Acari:Winterschmidtidae) to its eumenine wasp host, *Allodynerus delphinalis* (Hymenoptera: Vespidae), Canadian Journal of Zoology, 86, 470-478, 2007, 査読有り

⑦Sueyoshi, M., Okabe, K. & Nakamura, T., Host preferences of crane flies (Diptera: Limoniidae) and their roles as phoronts of Acari (Arachnida) inhabiting fungal sporophores, Canadian Entomologist, 139, 247-257, 2007, 査読有り

⑧Abe, W. and Okabe, K., A new mite of the winterschmidtiiid genus *Ensliniella* (Acari: Astigmata) associated with the vespid wasp *Allodynerus mandschricus* (Insecta: Hymenoptera) from Japan, Zoological Science, 23, 929-935, 2006, 査読あり

[学会発表] (計 5 件)

①Okabe, K. and Makino, S., *Ensliniella parasitica* parasitic to as well as a bodyguard of a host wasp, *Allodynerus delphinalis*, International Symposium on mites and whitefly, Daemyung Resort, Gyeongju, Korea, 10 October, 2008

②岡部貴美子・牧野俊一、アカリナリウム(ダニポケット)を持つアトボシキタドロバチと寄主特異的寄生ダニその1ーアトボシキタドロバチヤドリコナダニはホストの血を吸う用心棒、第55回日本生態学会大会、福岡国際会議場、2008年3月17日

③牧野俊一・岡部貴美子・James Carpenter、アカリナリウム(ダニポケット)を持つアトボシキタドロバチと寄主特異的寄生ダニその2ーアカリナリウムの構造と進化ー、第55回日本生態学会大会、福岡国際会議場、2008年3月17日

④岡部貴美子・牧野俊一、アカリナリウムは何故発達したかーホストが寄生性ダニを運ぶ理由ー、第16回日本ダニ学会、千葉大学、2007年10月26日

⑤岡部貴美子・牧野俊一・遠藤知二・阿部渉、

キタドロバチ属（ドロバチ科）におけるアカリナリウムの進化、日本ダニ学会誌（第14回日本ダニ学会講演要旨）、15、82、2006

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

- ①岡部貴美子、ドロバチの子を守る用心棒ダニ、つくばサイエンスフェスティバル公開講演、2008年11月8日
- ②しんぶん赤旗、ダニを用心棒にするハチ、2008年8月31日
- ③NHK ニュース（おはようニッポン）、2008年8月13日
- ④農政ニュース、ダニー実はハチの用心棒一、2008年7月22日
- ⑤朝日新聞、嫌われ者のダニ、実はハチの幼虫守ってた、2008年7月19日
- ⑥工業日報、ハチの天敵をダニが殺傷、2008年7月16日
- ⑦読売新聞（Yahoo ニュース）、おれが嫌われ者？とんでもない、ハチの用心棒ダニ、2008年7月16日、(<http://www.yomiuri.co.jp/science/news/20080716-0YT1T00284.htm>)
- ⑧ New Scientist（電子版）Wasps use parasitic mites as baby bodyguards, 7/July/2008, (<http://www.newscientist.com/article/dn14262-wasps-use-parasitic-mites-as-baby-bodyguards.htm>)
- ⑨ Science News（電子版）Mighty mites, 1/July/2008, ([http://www.sciencenews.org/view/generic/id/33774/title/Mighty\\_mites](http://www.sciencenews.org/view/generic/id/33774/title/Mighty_mites))

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

岡部 貴美子 (OKABE KIMIKO)

独立行政法人森林総合研究所・森林昆虫研究領域・チーム長

研究者番号：20353625

### (2) 研究分担者

牧野 俊一 (MAKINO SHUNICHI)

独立行政法人森林総合研究所・森林昆虫研究領域・領域長

研究者番号：20353849

### (3) 連携研究者

なし