

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 22 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22570015

研究課題名（和文） アリによるアブラムシの育種をもたらす選択的捕食の機構

研究課題名（英文） Mechanisms governing selective predation of ants on aphids

研究代表者

市野 隆雄（ITINO TAKAO）

信州大学・理学部・教授

研究者番号：20176291

研究成果の概要（和文）：

クサアリ類によるヤノクチナガオオアブラムシに対する選択的捕食の機構について、相利共生者相互の化学認識に着目した実験的研究をおこなった。その結果、①アリの体表面炭化水素（CHC）が付着しているアブラムシはアリによる捕食を受けにくいこと、②アブラムシ自身がアリに似た CHC を分泌していること、および③異なるアリ種に随伴されているヤノクチナガオオアブラムシの成虫は、それぞれの随伴アリ種に似た CHC を分泌していることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：

The ant subgenus *Dendrolasius* tending the aphid *Stomaphis yanonis* preys less on the aphids being attended by their nestmate ants. This observation leads to the hypothesis that ants use colony-specific cuticular hydrocarbons (CHCs) to mark their attended aphids. We confirmed that the CHC profiles of ant-attended aphids resembled those of ant CHCs, and that glass dummies treated with ant-attended aphid CHCs were attacked less by ants than those treated with CHCs from non-attended aphids. Mature aphids that exuviated in the absence of ant attendance had almost all of the hydrocarbon components that the ants' CHCs had, indicating that mature aphids actively produce ant-like CHCs. This is the first documentation of a chemical resemblance between aphids and ants in a specific aphid-ant association.

交付決定額

（金額単位：円）

|         | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2010 年度 | 1,100,000 | 330,000 | 1,430,000 |
| 2011 年度 | 800,000   | 240,000 | 1,040,000 |
| 2012 年度 | 800,000   | 240,000 | 1,040,000 |
| 年度      |           |         |           |
| 年度      |           |         |           |
| 総計      | 2,700,000 | 810,000 | 3,510,000 |

研究分野：生態・環境

科研費の分科・細目：基礎生物学、生態・環境

キーワード：共進化、共生、種特異性、選択的捕食、化学擬態、体表面炭化水素

## 1. 研究開始当初の背景

相互作用しあう種間、特に捕食者-被食者、寄生者-寄主、相利共生者同士では、相手を

正確に認識することが生存過程において重要である。たとえば、捕食者や寄生者では相手が利用可能な被食者や寄主であることを識

別する必要があるし、逆に被食者や寄生物の側には、自らの脅威となるような天敵を認識して逃避・攻撃したり、擬態によって相手の認識を攪乱するなどの適応形質が進化していることがある。この点、寄主-寄生者関係など敵対系については化学認識物質が介在した種間の対抗適応についての知見が蓄積してきている。その一方で相利共生系については、化学認識物質が介在した進化の実証例がほとんどない。この理由としては、相利共生系では種特異性が一般に低いためパートナー生物への種特異的な適応が起こりにくいことが挙げられる。

アリーアブラムシ相利共生系においては、アリがアブラムシの排泄する甘露を栄養源にする一方、アブラムシを天敵による捕食や寄生から守っている。しかし、アリは随伴しているアブラムシをしばしば捕食することも知られてきた (Pontin 1958)。アリによるアブラムシ類に対する捕食頻度は、アリのコロニーレベルでの餌の質的なバランスによって決定される。アブラムシが増殖して甘露が余剰になった場合や (Way 1963) アリコロニー内でタンパク質需要が高まった場合には (Pontin 1978)、アリは以前に随伴していたアブラムシであっても甘露採集をせずに捕食するようになる。これらのことから、相利関係にあるアリとアブラムシの間にも利害の対立が存在し、互いに自分が有利になるための戦略、すなわちアブラムシ側にはなるべくアリに食べられないような戦略が、一方、アリ側にはなるべく甘露生産効率が高いアブラムシを残すような戦略が、それぞれ進化すると予測される。実際、クヌギクチナガオオアブラムシ *Stomaphis japonica* では、甘露をよく分泌するアブラムシほどアリに捕食されにくいことが分かっている。その結果、甘露生産効率が高いアブラムシはよく生存し、子を多く残すことになると予測される。これは、人間が家畜に対しておこなう育種 (selective breeding) と似ている。このようなアリによるアブラムシの育種につながる選択的捕食の作用プロセスにおいて重要なのは、「甘露分泌量の少ないアブラムシをアリがどうやって識別するか」という点である。しかし、アリがどのようにして甘露の分泌量を把握しているかについてはわかっていなかった。

Sakata (1994) は、トビイロケアリ *Lasius niger* によるクリオオアブラムシ *Lachnus tropicalis* の捕食について、以前にアリに随伴された経験のあるアブラムシは、異なる巣のアリには捕食されるが、同じ巣のアリには捕食されにくいことを示した。このことから、Sakata (1994) は、「アリは随伴したアブラムシに巣仲間が確認できるマークを残し、このマークが巣仲間によるそのアブラムシへ

の捕食を抑制する」という仮説を立てた。しかし、このマークがどのような物質であるかという実態についてはわかっていなかった。

## 2. 研究の目的

本研究ではクサアリ類によるヤノクチナガオオアブラムシに対する選択的捕食の機構について、相利共生者相互の化学認識に着目した実験的研究をおこなった。具体的な目的は、(1)「クロクサアリ *L. fuji* の体表面物質がヤノクチナガオオアブラムシ *S. yanonis* に付着し、アリはそれを手がかりにアブラムシを選択的に捕食している」という仮説を検証すること、(2) アブラムシ側がアリの体表面物質に似た組成の物質を自身の体表面に分泌しているかどうかを明らかにすること、(3) 1種のアブラムシでも、共生アリ種が異なる場合には体表面物質が異なるかどうかを検証すること、(4) 1種のアブラムシが、共生アリ種ごとに遺伝的分化を起こしているかどうかを明らかにすること、の4点である。

## 3. 研究の方法

### (1) 選択的捕食の機構

ヤノクチナガオオアブラムシ-クロクサアリ系において、  
①アリを随伴させて飼育したアブラムシと、アリ非随伴で飼育したアブラムシに対する、アリによる捕食率を比較した。  
②アリ随伴アブラムシの体表炭化水素 (CHC) を塗布したガラスダミーと、非随伴アブラムシの CHC を塗布したガラスダミーに対するアリの攻撃性を比較した。  
③アリ随伴アブラムシ、非随伴アブラムシ、およびアリの CHC プロファイル (組成および組成比) を比較した。

### (2) アブラムシのアリへの化学擬態の検証

①クロクサアリのコロニーから採集した各年齢期のヤノクチナガオオアブラムシをアリ非随伴の条件下で飼育した。その後、新たに脱皮した、または出生したアブラムシ (これらの体表にはアリ由来物質が付着していない) の CHC を抽出・分析し、アリの CHC と比較した。  
②アブラムシ体表に人為的に n-ドコサン (炭化水素の一種) を塗布し、その後脱皮した個体の CHC を分析した。

### (3) 共生アリ種間でのアブラムシの体表面物質の変異

野外で2種のアリ (クロクサアリ、フシボクサアリ) のコロニーから採集したヤノクチナガオオアブラムシの4齢幼虫と成虫をアリ非随伴の条件下で飼育し、それぞれ脱皮、産仔させることでアリ由来物質を排除した成虫、および1齢幼虫のサンプルを得た。

これらのアブラムシの CHC をそれぞれの随伴アリ種と比較した。

#### (4) アブラムシの共生アリ種間での遺伝的分化

野外で4タイプのアリ（クロクサアリ、フシボソクサアリ、テラニシケアリ、および種間交雑に由来すると考えられる同定不能なクサアリ）、計8コロニーからヤノクチナガオオアブラムシを採集し、mtDNAのCOI領域を用いてこれらのアブラムシの分子系統解析を行い、①寄主アリ種ごとの遺伝的分化、②寄主植物種ごとの遺伝的分化が、それぞれ見られるかどうかを検証した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 選択的捕食の機構

①アリは巣仲間のアリに随伴されていたアブラムシを、より捕食しないことが判明した。  
②アリ随伴のアブラムシのCHCにはアリの攻撃を抑制する効果があった。  
③アリと随伴アブラムシ（若齢幼虫）の体表面物質の組成が似ている一方、アリと非随伴アブラムシ（若齢幼虫）は似ていなかったことから、随伴することによってアリのCHCがアブラムシ体表に移ることが示唆された。これらの結果は、甘露を採取する随伴アリのCHCがアブラムシに付着し、そのCHCがアリの捕食を減少させるという仮説を支持している。

##### (2) アブラムシのアリへの化学擬態の検証

①アリが随伴していないアブラムシのCHC組成は、3齢以上の個体ではアリのCHCとよく似ていた。一方、1、2齢幼虫ではCHC組成がアリとは異なっていた。  
②アブラムシが脱皮することで、体表に付着していた炭化水素が脱皮殻と共に脱ぎ捨てられ、脱皮後の体表面には残らないことを確認した。

以上の結果は、3齢以上のヤノクチナガオオアブラムシがクロクサアリに似た組成のCHCを自ら生合成していることを強く示唆するものである。

##### (3) 共生アリ種間でのアブラムシの体表面物質の変異

成虫のアブラムシはそれぞれの随伴アリ種に似た組成のCHCを持っていること、1齢幼虫は、それぞれの随伴アリ種と比較していくつかの化学成分のピークを欠き、2種のアリが共有するピークのみを持っていることが、それぞれ明らかになった。

これらの結果は、ヤノクチナガオオアブラムシのCHCが、出生後、成長とともに随伴アリに似たものに変化することを示している。

#### (4) アブラムシの共生アリ種間での遺伝的分化

①アブラムシは寄主アリ種ごとに組成の異なるCHCを生合成しているにも関わらず、アリ種に対応した遺伝的分化は認められなかった。このことは以下の二つの可能性を示唆している。1) 随伴しているアリ種に合わせてアブラムシがCHCを可塑的に変化させている、もしくは、2) アリによる強い淘汰圧によって、極めて短い時間スケールでアブラムシのCHCが寄主アリに似たものに進化している。

②アブラムシは寄主植物種に対応して遺伝的に分化しており、ホストレースを形成していることが強く示唆された。

#### 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5件）

- ① Endo S and Itino T (2013) Myrmecophilous aphids produce cuticular hydrocarbons that resemble those of their tending ants. *Population Ecology* 55: 27-34. (査読有)
- ② Hattori M, Kishida O and Itino T (2013) Buying time for colony mates: the anti-predatory function of soldiers in the eusocial aphid *Ceratovacuna japonica* (Homoptera, Hormaphidinae). *Insectes Sociaux* 60: 15-21. (査読有)
- ③ Hattori M, Kishida O and Itino T (2013) Soldiers with large weapons in predator-abundant midsummer: phenotypic plasticity in a eusocial aphid. *Evolutionary Ecology* DOI 10.1007/s10682-012-9628-5 (査読有)
- ④ Endo S and Itino T (2012) The aphid-tending ant *Lasius fuji* exhibits reduced aggression toward aphids marked with ant cuticular hydrocarbons. *Population Ecology* 54: 405-410. (査読有)
- ⑤ Hattori M and Itino T (2012) The adaptation against soldier caste of a eusocial aphid: eggs are not attacked by soldiers in specialist predator *Atkinsonia ignipicta* (Lepidoptera: Stathmopodidae). *Sociobiology* 59: 1315-1322. (査読有)

〔学会発表〕（計18件）

- ① 遠藤真太郎・市野隆雄 (2013) アブラムシによる複数種の共生アリへの化学擬態. 日本応用動物昆虫学会第57回大会 2013年3月29日 日本大学.
- ② 遠藤真太郎・市野隆雄 (2013) アリによ

るアブラムシへの「目印」とアブラムシによるアリへの化学擬態. 日本生態学会第60回大会 2013年3月8日 静岡県コンベンションアーツセンター.

- ③ 遠藤真太郎・市野隆雄 (2012) 三種の随伴アリに対するヤノクチナガオオアブラムシの化学擬態. 日本昆虫学会第71回大会 2012年9月16日 玉川大学.
- ④ 遠藤真太郎・市野隆雄 (2012) アブラムシによる共生アリへの化学擬態. 地球惑星科学連合 2012年大会 2012年5月20日 幕張メッセ.
- ⑤ 遠藤真太郎・市野隆雄 (2012) アリによるアブラムシへの化学的「目印」とアブラムシによるアリへの化学擬態. 日本応用動物昆虫学会第56回大会 2012年3月28日 近畿大学. (招待講演)
- ⑥ Endo, S. and Itino, T. (2012) Chemical mimicry in the aphid *Stomaphis yanonis* mutualistic to *Lasius* ants. The 5th East Asia Federation of Ecological societies International Congress March 19, 2012 Ryukoku University.
- ⑦ 遠藤真太郎・市野隆雄 (2011) 共生アブラムシによるアリへの化学擬態. 中部山岳地域環境変動研究機構 2011年度年次研究報告会 2011年12月16日 信州大学.
- ⑧ 遠藤真太郎・市野隆雄 (2011) 随伴アリ種の異なるヤノクチナガオオアブラムシにおける CHC 組成の相違. 日本昆虫学会第70回大会 2011年9月18日 信州大学.
- ⑨ 遠藤真太郎 (2011) アリとアブラムシの共生関係: 相互依存と相互搾取. *Animal 2011* (日本動物行動学会他 3学会合同大会) 2011年9月8日 慶應義塾大学. (招待講演)
- ⑩ 遠藤真太郎・市野隆雄 (2011) 3種の異なるアリ種に随伴されたヤノクチナガオオアブラムシの CHC 組成の比較. 日本応用動物昆虫学会第55回大会 2011年3月28日 九州大学.
- ⑪ 遠藤真太郎・市野隆雄 (2011) アリに絶対依存するアブラムシと共生アリの体表炭化水素の類似性. 日本生態学会第58回大会 2011年3月9日 札幌コンベンションセンター.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

市野 隆雄 (ITINO TAKAO)  
信州大学・理学部・教授  
研究者番号: 20176291

### (4) 研究協力者

遠藤 真太郎 (ENDO SHINTARO)  
信州大学・総合工学系研究科・大学院生  
研究者番号: なし

服部 充 (HATTORI MITSURU)  
信州大学・総合工学系研究科・大学院生  
研究者番号: なし