

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2013

課題番号：21580066

研究課題名(和文) 農業ダニ類の食物連鎖にアリが及ぼす影響

研究課題名(英文) Effects of ants on predator-prey interactions among mites in agro-ecosystems

研究代表者

矢野 修一 (Yano, Shuichi)

京都大学・(連合)農学研究科(研究院)・助教

研究者番号：30273494

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：ハダニは葉面に張った網の中に住み、網でアリ等のほとんどの捕食者による攻撃を防ぐ一方、天敵のカブリダニが網に侵入すると、網外に出て攻撃を避ける。しかしアリとカブリダニの両方がいると、網に籠もるか網を出るかという相容れないハダニの捕食回避策は破綻し、カブリダニを避けて網を出たハダニがアリに捕食された。これまでハダニと無関係と思われていたアリが、カブリダニを利用したハダニの生物的防除に貢献する可能性を世界で初めて示した。また、ハダニが捕食者から身を守るために網を共有し、それがハダニの集合性をもたらすことと、立体的な防御網を張らないミカンハダニが全く異なる捕食回避法を持つことを研究遂行過程で発見した。

研究成果の概要(英文)：Spider mites live in the space between leaf surfaces and thin silk webs. Spider mites avoided generalist predators such as ants by staying inside the webs, while the mites avoided predator mites that intruded into their webs by exiting the webs. In the presence of both predators, however, the conflicting antipredator defenses of spider mites broke down; the mites that moved out of the webs in response to predatory mites were preyed upon by ants. This study offers the first evidence that ants may have a positive effect on the biological control of spider mites by predatory mites. Moreover, we also found in the course of the above study that cooperative web sharing against predators promotes group living in spider mites and that spider mite species that does not build protective webs has an alternative defense against predators.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農学・応用昆虫学

キーワード：アリ ハダニ カブリダニ 防御網 捕食回避 集合性 生物的防除 人工生態系

### 1. 研究開始当初の背景

新規農薬開発とハダニの薬剤抵抗性獲得の際限ない軍拡競争に敗北しつつある人類にとって、捕食者を用いる生物的防除が最後の希望である。ハダニを捕食するカブリダニは、生物的防除の切り札と期待されるが、その抑止力は状況依存的とされる。その理由として、ハダニとカブリダニを取り巻く食物連鎖に注目した。農生態系には、作物(植物) ハダニ(植食者) カブリダニ(捕食者)と、作物(植物) 多くの害虫(植食者) アリ(捕食者)の捕食連鎖が普遍的に同居する。ジェネラリスト捕食者のアリは、その巨大なバイオマスを維持するために、小型節足動物に大きな捕食圧をかけているはずである。したがって、アリは上記のカブリダニによるハダニの捕食・制御と、それを利用したハダニの生物的防除の成否を左右すると考えられる。しかし、野外では微小なダニ類を肉眼で同定できず、また室内ではアリの社会性行動を創発する大規模な飼育装置が必要なため、これまではアリとダニ類の相互作用を調べる有効な方法が無かった。

### 2. 研究の目的

当初我々は、防御網の中で暮らすハダニはアリの捕食を免れると予測した。また、網を造らないカブリダニが常に逃げ隠れする観察事実から、彼らがアリに頻繁に捕食されると予測した。これらの予測を検証するために、実験室内でアリとダニ類が同居する人工生態系を確立し、アリがハダニとカブリダニの攻防や、カブリダニを用いたハダニの生物的防除に及ぼす影響を予測することを最大の目的とした。一方で、ハダニがアリの捕食を免れるという予測に基づき、その至近要因となる化学成分を特定することも目的とした。また、研究計画を実施する過程で出会う予期せぬ発見もまた基礎研究の大きな意義であり、本研究から生まれた成果に違いないので、これらをあわせて報告することも目的とした。

### 3. 研究の方法

(1) アリがハダニとカブリダニの攻防に及ぼす影響

ダニ類を閉じ込めたインゲンマメの葉にアミメアリだけが出入りできる人工生態系内を確立した(図1)。女王を持たずワーカー

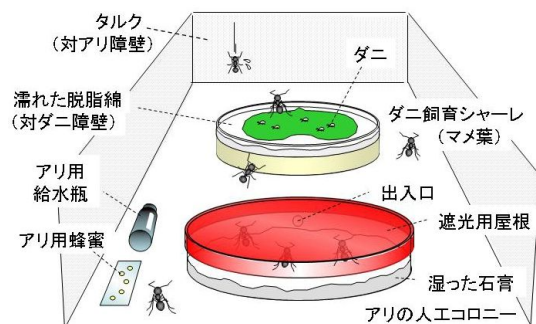


図1. アリとダニの相互作用を検証する人工生態系

が産卵するアミメアリは、小規模で飼育してもコロニー内の幼虫を養うために捕食行動を発揮する。アリはダニを持ち去って捕食するので捕食痕を残さないが、装置上から消えたハダニの数でアリによる捕食を判定した。ケナガカブリダニ、アミメアリ、その両方がいる系を反復して一定時間後のカンザワハダニの生存を比べた。

### (2) ハダニ及び網の化学成分の分析

アミメアリは、捕食したナミハダニをしばしば吐き戻す。その原因がハダニの持つ化学成分にあると予測し、ハダニとカブリダニの体表・体内、糞、ハダニの餌植物(インゲンマメ)の化学成分を比べた。さらに、シリカゲルカラムクロマトグラフィーで分画したハダニの体内成分を塗布した餌(ショウジョウバエ)に対するアリの摂食行動を生物検定することで、吐き戻しの原因となる化学成分を特定した。

一方で、ナミハダニ雌成虫の集合性の原因となる網の成分を解明するため、網上の卵、黒糞粒、白糞粒と吐糸のメタノール及びヘキサン抽出成分に対するハダニ雌成虫の選好性を生物検定した。さらに、反応の確認された抽出成分を薄層クロマトグラフィー(TLC)で分離し、各分画成分に対するハダニの選好性も検定した。また、集合性を裏付ける化学成分が、異なる生態的狀況下で異なる機能を持つ可能性を探るため、集合性を維持する必要がある低密度(<100 匹/葉)とその必要が低い高密度(>1000 匹/葉)で育った雌成虫の黒糞粒成分に対する選好性を比べた。

(3) 捕食回避がハダニの集合性に及ぼす影響  
動物が群れると通常は餌や住み場所をめぐる仲間内の競争が激しくなるので、よほどの利益がない限り群れることは割に合わない。網を利用したハダニの捕食回避メカニズムを研究する過程で、ハダニの捕食回避が彼らの集合性を促進することを発見したので報告する。この実験では、アリと同様にハダニの網が苦手な捕食者であるコウズケカブリダニの雌成虫を用いて、群れの大きさ(1~4 匹/15×15mm マメ葉片)と防御網の建設時間(1~24h)が異なるナミハダニとカンザワハダニの雌成虫に対する捕食率(/24h)を比べた。さらに、ハダニの先住個体(雌成虫)が完成した網に新参個体が駆け込む状況を同種と異種のペアで再現し、24h 以内の両者の捕食率と産卵数を測定して両者の損得を評価した。

### (4) 防衛網を持たないミカンハダニの捕食回避メカニズム

殆どのハダニが防御網で身を守って暮らしている一方で、網を張らないミカンハダニが無事に暮らしている理由は謎だった。網を利用したハダニの捕食回避メカニズムを解明する過程で、ミカンハダニの全く異なる捕食

回避メカニズムを発見したので報告する。ミカンハダニは、ほとんどいつも葉面に伏せているが(図2左)、葉の劣化時や産卵時には体を持ち上げて歩く(図2右)。葉面に伏せるミカンハダニの背には、葉面以外の全方向に長



図2 隙がない匍匐時(左)と脇が甘い歩行時(右)のミカンハダニ

い毛が突き出し、毛のない胴体下部は葉面に密着して隙がない(図2左)。この毛と伏せる姿勢が、カブリダニに対する防御になると推測した。伏せる姿勢の防御力を確かめるため、伏せられないように操作したハダニ雌成虫、または正常なハダニ雌成虫をコウズケまたはケナガカブリダニの雌成虫とともに 15×15mm グレープフルーツ葉片に導入し、24h 内の捕食率を測定した。次に、長い毛の防御力を確かめるために、正常なハダニと特



図3 脱毛処理の前(上段)と後(下段)のミカンハダニ

殊技術で脱毛したハダニ(図3)のコウズケカブリダニによる捕食率を同様に測定した。また、ミカンハダニとカブリダニの攻防をビデオ録画して観察した。

#### 4. 研究成果

(1) アリがハダニとカブリダニの攻防に及ぼす影響

カンザワハダニはアリに対しては網に籠もり(図4左) 網に侵入するケナガカブリダニに対しては網外に逃げて(図4中央)ほとんどの個体が生き残ったが、アリとカブリダニの両方がいる系では、網に籠もるか網を出るかという相容れないハダニの捕食回避策が破綻し、カブリダニを避けて網外に出た多くのハダニがアリに捕食された(図4右)。また当初の予想とは異なり、ハダニの網に侵入したカブリダニは、ハダニの網に守られてアリに捕食されなかった。以上の結果は、カブリダニによるハダニの生物的防除の成否

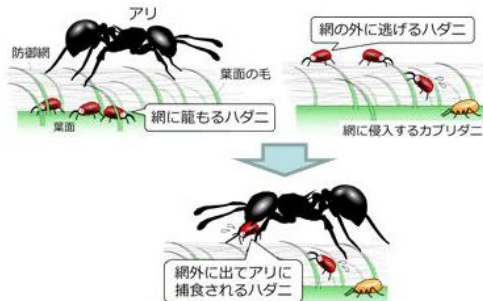


図4 ハダニの異なる防御戦略は、個別の天敵には有効だが、両天敵の同居時に破綻する

をアリが左右することを世界で初めて示した成果である。これをオランダの昆虫学専門誌で発表すると(5. 雑誌論文) 農業を使わずにハダニを駆除する方法につながるとして、日本経済新聞や共同通信社を介して多くの地方紙で紹介され(5. その他新聞報道) 京都大学の研究成果ホームページやマイナビニュース等のネットメディアでも報道された(5. その他ホームページ)。

(2)ハダニ及び網の化学成分の分析

ナミハダニの体内や糞、ハダニの餌植物に共通する脂溶性成分のフィトールが、ハダニ1匹当量でアリの摂食を阻害することを解明した。フィトールは植物が普遍的に持つ葉緑素の分解物なので、多くの餌植物種を利用するナミハダニは、餌植物の代謝産物を利用してアリによる捕食を回避している可能性がある。また、ハダニの網上に点在する排泄物中にもフィトールが含まれていた(5. 学会発表 No.19,24)。この成果は現在投稿準備中である。

また、ナミハダニの網上に排泄される黒糞粒の成分が、ハダニの集合性を裏付けることを解明した。しかしTLCで分離した黒糞粒の各分画に対してハダニは選好性を示さなかった。一方、黒糞粒の同じ粗抽出成分に対して、低密度で育ったハダニの雌成虫は選好性を示し、高密度で育った雌成虫は反応しなかった。この結果は、同じ化学成分が集合する必要のある低密度時にはハダニを集合させ、そうでない高密度下では集合させないことを示す。この成果をオランダのダニ学専門誌で発表した(5. 雑誌論文)。

(3) 捕食回避がハダニの集合性に及ぼす影響

事前に網を建設する時間が長いほどハダニがコウズケカブリダニに捕食されないことから、この捕食者はハダニの網が完成すると手を出せなくなるらしい。一方、群れが大きいほどハダニが捕食されにくいのは、捕食者が飽食するからではなく、1匹目のハダニが捕食される間に網が完成して、2匹目に手が出せないためらしい。さらに、先住ハダニが完成した網に駆け込む新参ハダニは、網にタダ乗りして捕食率を下げるが、そのせいで先住ハダニの捕食率は上がらなかった。また、網の創設期にあたるこの時期に他個体と同居してもハダニの産卵数は減らなかった。以上より、先住ハダニが新参ハダニを追い出す必要が無いので、両者は網を共



図5 寄り添って暮らすカンザワハダニ(右上赤色)とナミハダニ(右下緑色)

有して集合すると考えられた。この協力関係は同種内だけではなく、ナミハダニとカンザワハダニの種間でもみられた(図5)。両種が同種の交尾相手を識別できることを考えると、別種だと知りながら共通の天敵に備えて協力している可能性がある。この成果をドイツの行動学専門誌で発表すると(5. 雑誌論文)、科学新聞(5. その他新聞報道)、京都大学の研究成果ホームページやマイナビニュース等のネットメディアで報道された(5. その他ホームページ)。

#### (4)防衛網を持たないミカンハダニの捕食回避メカニズム

伏せられないように操作したハダニは、葉面に伏せる正常なハダニに比べてカブリダニによる捕食率がずっと高かった。また、脱毛したハダニは、平時には正常な雌成虫に遜色なく暮らしたが、カブリダニを同居させると捕食率が劇的に高まった(図3)。葉面に伏せたハダニにカブリダニがどの方向から近づいても、ハダニの胴体よりも先に毛に触れる。伏せたハダニは、相手が生物でも人工物でも、毛に触れるとその姿勢を崩さない。伏せたハダニに近づくカブリダニの多くはハダニの毛が邪魔で退散するが、力づくでハダニの胴体に近づくカブリダニは、自分がしならせたハダニの毛によって弾き飛ばされた(図6左)。一方で、この捕食回避法は同じくミカン葉を食べる巨大なアゲハチョウのイモムシには通用しないので、イモムシに触られても逃げないハダニは葉ごと食べられる(図6右)。これらの成果はオランダのダニ学専門誌とドイツの科学誌で発表し(研究発表[雑誌論文])、京都新聞(5. その他新聞報道)や京都大学の研究成果HP(5. その他ホームページ)でも紹介された。ハダニが日常的な脅威(カブリダニ)への備えに固執するあまり、生涯に一度あるかどうかの巨大災害(イモムシ)で落命する姿は、我々自身の巨大災害対策への示唆に富むため、ネット上「2ちゃんねる」の生物学掲示板では本研究内容を(無断で)転載したスレッドが立ち(誹謗中傷も含めて)200件近いコメントが寄せられた。この議論形態が望ましいかどうかはさておき、本研究内容が大きな社会的関心と呼んだことは疑いない。



図6 葉面に伏せるひとつ覚えの防衛法は、主要天敵のカブリダニに有効である反面(左)、巨大なイモムシに食われる悲劇を産む(右)。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計13件)

Yoshioka T, Yano S (2014) Do

*Tetranychus urticae* males avoid mating with familiar females? J Exp Biol 査読有(in press) DOI: 10.1242/jeb.098277

Otsuki H, Yano S (2014) Potential lethal and non-lethal effects of predators on dispersal of spider mites. Exp Appl Acarol 査読有(in press) DOI: 10.1007/s10493-014-9824-9

Otsuki H, Yano S (2014) Predation risk increases dispersal distance in prey. Naturwissenschaften 査読有(in press) DOI: 10.1007/s00114-014-1181-3

Clotuche G, Yano S, Akino T, Amano H (2014) Chemical investigation of aggregation behaviour in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*. Exp Appl Acarol 査読有 63: 377-387. DOI: 10.1007/s10493-014-9779-x

Otsuki H, Yano S (2014) Functionally different predators break down antipredator defenses of spider mites. Entomol Exp Appl 査読有 151: 27-33. DOI: 10.1111/eea.12164

Yano S, Shirotsuka K (2013) Lying down with protective setae as an alternative antipredator defence in a non-webbing spider mite. SpringerPlus 査読有 2: 637. DOI: 10.1186/2193-1801-2-637

Bowler DE, Yano S, Amano H (2013) The non-consumptive effects of a predator on spider mites depend on predator density. J Zool 査読有 289: 52-59. DOI: 10.1111/j.1469-7998.2012.00961.x

Yano S (2012) Individual spider mites cooperate with outsiders to cope with predators. Kyoto University Research Activities 査読無 2012 2: 27

Yano S (2012) Cooperative web sharing against predators promotes group living in spider mites. Behav Ecol Sociobiol 査読有 66: 845-853. DOI: 10.1007/s00265-012-1332-5

Shirotsuka K, Yano S (2012) Coincidental intraguild predation by caterpillars on spider mites. Exp Appl Acarol 査読有 56: 355-364. DOI: 10.1007/s10493-012-9514-4

城塚可奈子・矢野修一(2011)カブリダニの共食いを防ぐ累代飼育システム 日本応用動物昆虫学会誌 査読有 55: 25-27. DOI: 10.1303/jjaez.2011.25

Ohzora Y, Yano S (2011) Voluntary falling in spider mites in response to different ecological conditions at landing points. J Insect Behav 査読有 24: 274-281. DOI: 10.1007/s10905-010-9253-5

Shinmen T, Yano S, Osakabe Mh (2010) The predatory mite *Neoseiulus womersleyi*

(Acari: Phytoseiidae) follows extracts of trails left by the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) Exp Appl Acarol 査読有 52: 111-118. DOI: 10.1007/s10493-010-9356-x

[学会発表] (計 24 件)

矢野修一・大槻初音 カブリダニは開放系でも共食いやギルド内捕食をするか? 第 58 回日本応用動物昆虫学会大会 (2014 年 3 月 27 日) 高知大学朝倉キャンパス

大槻初音・矢野修一 分散待機状態のハダニの性質について 第 58 回日本応用動物昆虫学会大会 (2014 年 3 月 27 日) 高知大学朝倉キャンパス

足立真陽・矢野修一 アリを介したアブラムシのハダニに対する間接効果 第 58 回日本応用動物昆虫学会大会 (2014 年 3 月 27-28 日) 高知大学朝倉キャンパス

大槻初音・矢野修一 分散待機状態のハダニの性質について 第 22 回日本ダニ学会静岡大会 (2013 年 9 月 29 日) 静岡県総合研修所もくせい会館

矢野修一 群れるべきか、群れざるべきか? ハダニの損得勘定を検証する 第 57 回日本応用動物昆虫学会大会 (2013 年 3 月 28 日) 日本大学生物資源学部湘南キャンパス

大槻初音・矢野修一 ハダニの分散に捕食者が及ぼす致死性・非致死性効果 第 57 回日本応用動物昆虫学会大会 (2013 年 3 月 28 日) 日本大学生物資源学部湘南キャンパス

吉岡翼・矢野修一 ナミハダニの雄は顔見知りの雌を見分けるか 第 57 回日本応用動物昆虫学会大会 (2013 年 3 月 28-29 日) 日本大学生物資源学部湘南キャンパス

矢野修一 ナミハダニとカンザワハダニの比較生態学 第 21 回日本ダニ学会松江大会 (2012 年 9 月 29 日) 鳥根県民会館

Clotuche G, Yano S, Amano H Can spider mite individuals recognize their conspecific silk during habitat selection? The case of *Tetranychus urticae* and *Tetranychus kanzawai*. 第 21 回日本ダニ学会松江大会 (2012 年 9 月 29 日) 鳥根県民会館

吉岡翼・矢野修一 ナミハダニの雄は顔見知りの雌を見分けるか 第 21 回日本ダニ学会松江大会 (2012 年 9 月 29 日) 鳥根県民会館

大槻初音・矢野修一 ハダニの分散に捕食者が及ぼす影響 第 21 回日本ダニ学会松江大会 (2012 年 9 月 29 日) 鳥根県民会館

矢野修一・城塚可奈子 「動かざること」がミカンハダニの最大の防御になる 第 56 回日本応用動物昆虫学会大会 (2012 年 3 月 29 日) 近畿大学奈良キャンパス

大槻初音・矢野修一 異なる攻撃方法をとる捕食者がハダニの防御戦略を破綻させる 第 56 回日本応用動物昆虫学会大会 (2012 年 3 月 29 日) 近畿大学奈良キャンパス

矢野修一・城塚可奈子 ミカンハダニは何故アゲハチョウの幼虫にむざむざ喰われるのか 第 27 回個体群生態学会大会 (2011 年 10 月 15-16 日) 岡山大学

大槻初音・矢野修一 ハダニをめぐるカブリダニとアリの取り合い共生 第 27 回個体群生態学会大会 (2011 年 10 月 15-16 日) 岡山大学

矢野修一・城塚可奈子 ミカンハダニは何故アゲハチョウ幼虫にむざむざ喰われるのか 第 20 回日本ダニ学会高知大会 (2011 年 9 月 29 日) 城西館

大槻初音・矢野修一 ハダニをめぐるカブリダニとアリの取り合い共生 第 20 回日本ダニ学会高知大会 (2011 年 9 月 29 日) 城西館

城塚可奈子・矢野修一 イモムシに喰われるハダニ 第 20 回日本ダニ学会高知大会 (2011 年 9 月 29 日) 城西館

三宅謙, 秋野順治, 山岡亮平, 矢野修一 ハダニはなぜアリから襲われにくいのか? ハダニの化学戦術 第 55 回日本応用動物昆虫学会大会 (2011 年 3 月 29 日) 九州大学

矢野修一 対捕食者防衛におけるハダニ種間の協力 個体群生態学会第 26 回年次大会 (2010 年 9 月 22 日) 横浜国立大学

21. Bowler DE, Yano S, Amano H Density-dependent dispersal in response to the presence of a predator 個体群生態学会第 26 回年次大会 (2010 年 9 月 22 日) 横浜国立大学

22. 城塚可奈子, 矢野修一 植食者間のギルド内捕食 個体群生態学会第 26 回年次大会 (2010 年 9 月 22 日) 横浜国立大学

23. 矢野修一 捕食回避からみたハダニの集合効果 第 54 回日本応用動物昆虫学会大会 (2010 年 3 月 27 日) 千葉大学

24. 三宅謙, 秋野順治, 山岡亮平, 矢野修一 アリはカブリダニを襲うがハダニを襲わないのはなぜか? 第 54 回日本応用動物昆虫学会大会 (2010 年 3 月 27 日) 千葉大学

[その他]

新聞報道

日本経済新聞 2014 年 2 月 18 日朝刊 16 面  
京都新聞 2014 年 1 月 23 日夕刊 8 面  
産経新聞(京阪奈版)2012 年 3 月 13 日朝刊 26 面  
科学新聞 2012 年 3 月 9 日 2 面

ホームページ等

<http://news.mynavi.jp/news/2014/02/12/332/> (マイナビニュース)

<http://news.mynavi.jp/news/2012/02/23/099/>(マイナビニュース)

[http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/news\\_data/h/h1/news6/2013\\_1/140207\\_1.htm](http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/news_data/h/h1/news6/2013_1/140207_1.htm) (京都大学広報研究成果和文 HP)

[http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/news\\_data/h/h1/news6/2013\\_1/131203\\_3.htm](http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/news_data/h/h1/news6/2013_1/131203_3.htm) (京都大学広報研究成果和文 HP)

[http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/news\\_data/h/h1/news6/2011/120221\\_3.htm](http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/news_data/h/h1/news6/2011/120221_3.htm) (京都大学広報研究成果和文 HP)

[http://www.kyoto-u.ac.jp/en/news\\_data/h/h1/news6/2013\\_1/131203\\_3.htm](http://www.kyoto-u.ac.jp/en/news_data/h/h1/news6/2013_1/131203_3.htm) (京都大学広報研究成果英文 HP)

[http://www.kyoto-u.ac.jp/en/news\\_data/h/h1/news6/2011/120221\\_3.htm](http://www.kyoto-u.ac.jp/en/news_data/h/h1/news6/2011/120221_3.htm) (京都大学広報研究成果英文 HP)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

矢野 修一 (YANO Shuichi)  
京都大学・大学院農学研究科・助教  
研究者番号：3 0 2 7 3 4 9 4

### (2) 研究分担者

秋野 順治 (AKINO Toshiharu)  
京都工芸繊維大学・学内共同利用施設等・教授  
研究者番号：4 0 4 1 4 8 7 5

### (3) 連携研究者

刑部正博 (OSAKABE Masahiro)  
京都大学・大学院農学研究科・准教授  
研究者番号：5 0 3 4 6 0 3 7