

令和元年6月21日現在

機関番号：82111

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14868

研究課題名（和文）無農薬栽培はなぜ失敗するのか？ IBM成功圃場の分子生態モニタリングから探る

研究課題名（英文）Why pesticide-free farming fails? -Analysis by the molecular monitoring of IBM successful field-

研究代表者

霜田 政美（SHIMODA, Masami）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・生物機能利用研究部門・ユニット長

研究者番号：80344000

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、野菜栽培において生物多様性管理に基づく無農薬栽培、即ち、Integrated Biodiversity Management（IBM農業）を試みた。具体的には、ナス露地栽培において複数種のコンパニオン作物を混植して豊かな生態系を維持するとともに、天敵誘引LED光源を用いて天敵を圃場内に優先的に呼び込み、高密度に維持した。農業生態系の分子生態モニタリングを実施し、無農薬栽培環境下における植物・害虫・天敵間の生物間相互作用について解析した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

私たちの研究では、野菜の無農薬栽培において、昆虫・昆虫間、昆虫・植物間の相互作用がどのように働き、農業生態系のバランスが保たれるのかについて考察した。畑にいても農作物にほとんど被害を与えない虫、即ち「ただの虫」がいることで豊かな農業生態系が維持されると考えており、IPM農業（農薬使用を前提にした減農薬栽培）ではなく、農薬を使わず農業生態系を利用する栽培法（IBM農業）の可能性を探索した。

研究成果の概要（英文）：In this research, we have tried a pesticide-free farming based on biodiversity management in vegetable farming, that is, Integrated Biodiversity Management (IBM agriculture). Specifically, in the open-field culture of the eggplant, several kinds of companion crops were mixed to maintain a rich ecosystem, and natural enemies were preferentially attracted to the field using the LED light source to maintain at high density. We conducted a molecular monitoring of agroecosystems, and analyzed the biological interactions between plants, pests and natural enemies under the pesticide-free cultivation environment.

研究分野：応用昆虫学

キーワード：IBM農業 植物保護 農業生態系 生物多様性 生物間相互作用 土着天敵 天敵温存植物 発光ダイオード

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

昆虫学者である桐谷圭治は、その著書において、生物多様性に立脚した農業の実践を、未来の日本農業の姿として描いている。そこでは、害虫とその対策という一対一対応の害虫管理(特定の病虫害を防除しようとする IPM 技術)ではなく、圃場周辺の生態系の恩恵を受けつつ、害虫でも天敵でもない「ただの虫」(農業上、中立の虫)を圃場内に呼び込み、天敵も共存させることで、減農薬・無農薬農業を実践するという考え方である。即ち、自然生態系の力を利用した生物多様性管理に基づく農業 Integrated Biodiversity Management (IBM 農業)の試みである。

我々の研究グループは、野菜の露地栽培において IBM 農業に近い形を試みた。即ち、露地ナス栽培においてコンパニオン作物を混植して豊かな生態系を維持するとともに、特定波長の発光ダイオードを用いて天敵種を選択的に呼び込むことで、無農薬による野菜生産を実践した。しかし、栽培期間を通じて、圃場には実に様々な昆虫種が生息し、その昆虫相は目まぐるしく変遷した。そこで何が起きているのか?残念ながら“目視”と“サンプリング”による観察からは全体像を掴めなかった。そこで、腸内 DNA 分析による食餌メニュー解析を導入して、昆虫相の網羅的な生物間相互作用解析を行い、無農薬栽培下で圃場生態系の安定性がどのように維持されるのかを明らかにする必要があると考えた。

### 2. 研究の目的

本研究では、野菜の露地栽培において自然生態系の力を利用した生物多様性管理に基づく無農薬栽培、即ち、Integrated Biodiversity Management「IBM 農業」に挑戦する。具体的には、圃場内外に複数種のコンパニオン作物を混植して豊かな生態系を維持するとともに、発光ダイオードを用いて天敵種を圃場内に優先的に呼び込むことで、殺虫剤に依存しない害虫管理を実践する。同時に農業生態系の“大規模分子生態モニタリング”を実施し、無農薬栽培環境下における植物・害虫・天敵間の生物間相互作用を経時的・網羅的に分析する。その結果から、再現性のある IBM 農業の確立には一体何が重要なのかを明らかにする。

### 3. 研究の方法

本研究では、農家の圃場と同等の栽培規模での IBM 農業を試みた。栽培作物の周辺にコンパニオン植物を混植し、圃場内に発光ダイオードを設置して、天敵昆虫の選択的な誘引定着を促した。7月から10月までの栽培期間を通じて、圃場内に生息する昆虫種を網羅的にサンプリングし、DNA塩基配列を用いた分類群や種の同定と、腸内残存 DNA の分析による食餌メニューの解析により、各栽培時期における種の多様性と種間相互作用を分析した。これらのデータをもとに、コンパニオンプランツや天敵誘引 LED 光源などの IBM 農法の構成要素が、圃場生物群集の多様性と安定性におよぼす効果を解析した。

### 4. 研究成果

これまでの研究から、ナミヒメハナカメムシの誘引波長が害虫とは異なる 405 nm (紫色光)であることを見出し、紫色光の照射により天敵を優先的に作物上に誘引できることを明らかにした。そこで、天敵温存植物と本誘引光源を用いて土着のヒメハナカメムシ類の作物への移動、定着を促し、露地ナスの無農薬栽培を行った。誘引光源を照射する照射区としない対照区を設け、ナスは各区画に12株ずつ定植した。天敵温存植物としてマリーゴールド、ブルーサルビア、ゴマ、ソバ、オクラを各区画の端に定植した。誘引光源は、波長 405 nm にピークを持つロープ状 LED テープを使用し、照射区に定植されている全ナスの頭上に設置した。点灯時間は、ナミヒメハナカメムシの活動が最も活発になる夕方 17時から20時までとした。

各栽培区のナスの葉上に発生するヒメハナカメムシとアザミウマの数を記録した結果、光源を用いた天敵誘引には、【即効効果】と【持続効果】があることが判明した。即効効果とは、栽培作物上に天敵を素早く動員する作用である。ヒメハナカメムシおよびアザミウマの発生推移を調べたところ、ヒメハナカメムシ密度は、点灯から3日目には既に対照区の約5倍になり、誘引光源による誘引・定着作用の強さが示された。その結果、アザミウマ密度は、対照区よりも70%以上低く、早い段階で害虫の密度が抑制された。害虫の初期密度は、その後の害虫の発生量と栽培作物への被害に大きく影響を与えるため(Kean et al., 2003)、早期防除が非常に重要となる。実際にアザミウマの発生ピークは、照射区では対照区から半減した。このように誘引光源には、害虫の早期防除を可能にし、その後の害虫の発生を大きく抑制することが判明した。また、対照区では長い栽培期間を通じて高い天敵密度と害虫の抑制が維持された。対照区では、ヒメハナカメムシが少なく、アザミウマは高い密度で発生した一方で、照射区では、ヒメハナカメムシが常にナス上に発生しており、アザミウマの密度は1か月にわたり対照区より低く保たれた。

ナス葉上のヒメハナカメムシの年齢構成を調べた結果、約70%は幼虫だった。ヒメハナカメムシのアザミウマ捕食量は、成虫よりも5齢初期の幼虫の方が多いことが報告されている(Nagai and Yano, 2000)。また、幼虫には翅が無いことから栽培作物以外へ分散してしまう恐れがないため、成虫になるまで最低2週間はアザミウマの抑制効果が持続すると考えられる(Kohno and Kashio, 1998)。効果的な害虫防除の達成には、栽培作物上で産卵を促し幼虫を生産させることが必要であり、誘引光源によるヒメハナカメムシ幼虫の増加は、アザミウマ密度の長期抑制

に大きく貢献したといえる。

また、誘引光を照射した栽培区では、ヒメハナカメムシ以外の天敵種の増加が認められた。照射区で確認されたのは、様々なクモとテントウ、カゲロウなどである。クモ類は、ハナグモなどの徘徊性のクモやウロコアシナガグモなどの造網性のクモなど多様であり、ハナグモだけでも対照区よりも約 2.5 倍多く発生した。テントウは、実験した年度によって異なるが、ヒメカメノコテントウが 2.6 倍、ナミテントウが 1.1 倍発生した。さらに照射区では、(これも実験した年度によって異なるが)アマガエルが対照区の最大 2.4 倍も多く発生した。ハナグモやテントウは、ヒメハナカメムシを捕食しており、ヒメハナカメムシの高次捕食者と位置づけられるが、逆にヒメハナカメムシがクモを捕食している場合が認められた。捕食者が増加した結果として、アザミウマ以外にも、アブラムシとヨコバイの密度低下が認められ、照射区が対照区よりおのおの約 40 %、約 37%低下した。

ヨコバイ類の捕食者としては、様々な害虫種を捕食する天敵として知られるクモ類が主な捕食者と考えられるが、ヒメハナカメムシもヨコバイを捕食していることが判明した。さまざまな捕食者について腸内 DNA 分析による食餌メニュー解析を行ったところ、単純に害虫(食植者) > ヒメハナカメムシ(一次捕食者) > クモ・テントウ(二次・三次捕食者)という一方方向のピラミッド型の食物連鎖ではなく、捕食者が相互に捕食し合う複雑な食物網を形成していることが判明した。この、DNA 塩基配列を用いた分類群や種の同定と、腸内残存 DNA の分析による食餌メニューによる種間相互作用解析の結果については、現在までに分析が完了していないため、解析結果を待って論文発表する予定である。

#### <引用文献>

- Uehara T, Ogino T, Nakano A, Tezuka T, Yamaguchi T, Kainoh Y, Shimoda M\* (2019) Violet light is the most effective wavelength for recruiting the predatory bug *Nesidiocoris tenuis*. *BioControl*, 64(2), 139-147 DOI: 10.1007/s10526-019-09926-4.
- 霜田政美 (2018) 光と色を使った“光防除”技術 最近の進展と可能性 北日本病害虫研究報告 69:1-9.
- 霜田政美 (2018) 光防除技術開発の最近の進展 植物防疫 72(3)149-154
- 藤田和久\*・霜田政美\* (2018) 昆虫の光応答と LED を用いた光防除技術への応用 応用物理 87(4) 277-281
- 霜田政美 (2018) 特集「農業分野における光利用」紫色 LED を用いて天敵を集める新しい害虫防除技術 照明学会誌 102:497-500.
- 荻野拓海・上原拓也・山口照美・戒能洋一・霜田政美 (2018) 紫色 LED による天敵カメムシの行動制御技術 植物防疫 72(3)173-176
- Ogino T\*, Uehara T\*, Muraji M, Yamaguchi T, Ichihashi T, Suzuki T, Kainoh Y\*, Shimoda M\* (2016) Violet LED light enhances the recruitment of a thrip predator in open fields. *Scientific Reports* 6, Article number: 32302. doi:10.1038/srep32302.
- Tokushima Y, Uehara T, Yamaguchi T, Arikawa K, Kainoh Y, Shimoda M\* (2016) Broadband photoreceptors are involved in the violet light preference in the parasitoid fly *Exorista Japonica*. *PLoS ONE*. 2016 Aug 17;11(8): e0160441. doi: 10.1371/journal.pone.0160441.
- 霜田政美 (2016) “光防除” - 光や色を利用した新しい害虫防除技術- JATAFF ジャーナル 4(7):3-5
- 徳嶋賀彰・上原拓也・山口照美・蟻川謙太郎・戒能洋一・霜田政美 (2016) 昆虫の光受容に基づく波長選好性のモデル化 JATAFF ジャーナル 4(7):11-15

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計12件)

- Uehara T, Ogino T, Nakano A, Tezuka T, Yamaguchi T, Kainoh Y, Shimoda M\* (2019) Violet light is the most effective wavelength for recruiting the predatory bug *Nesidiocoris tenuis*. *BioControl*, 64(2), 139-147 DOI: 10.1007/s10526-019-09926-4. 査読有
- Furihata F, Tabuchi K, Okudera S, Takahashi A, Hinomoto N, Shimoda M, Yamaguchi T (2019) An efficient method for monitoring predatory minute pirate bugs *Orius* spp. (Hemiptera: Anthocoridae) populations using blue-colored sticky traps. *Environmental Entomology*. 48: 426-433. 査読有
- 霜田政美 (2018) 光と色を使った“光防除”技術 最近の進展と可能性 北日本病害虫研究報告 69:1-9. 査読有
- 霜田政美 (2018) 光防除技術開発の最近の進展 植物防疫 72(3)149-154 査読なし
- 藤田和久\*・霜田政美\* (2018) 昆虫の光応答と LED を用いた光防除技術への応用 応用物理 87(4) 277-281 査読有
- 霜田政美 (2018) 特集「農業分野における光利用」紫色 LED を用いて天敵を集める新しい害虫防除技術 照明学会誌 102:497-500. 査読なし
- 荻野拓海・上原拓也・山口照美・戒能洋一・霜田政美 (2018) 紫色 LED による天敵カメムシの行動制御技術 植物防疫 72(3)173-176 査読なし

田淵研・高橋明彦・日本典秀・霜田政美 (2017) 視覚コントラストを付加した青色粘着トラップによるヒメハナカメムシ類捕獲数の増強 北日本病虫研報 68:168-172. 査読有  
Ogino T\*, Uehara T\*, Muraji M, Yamaguchi T, Ichihashi T, Suzuki T, Kainoh Y\*, Shimoda M\* (2016) Violet LED light enhances the recruitment of a thrip predator in open fields. Scientific Reports 6, Article number: 32302. doi:10.1038/srep32302. 査読有  
Tokushima Y, Uehara T, Yamaguchi T, Arikawa K, Kainoh Y, Shimoda M\* (2016) Broadband photoreceptors are involved in the violet light preference in the parasitoid fly *Exorista Japonica*. PLoS ONE. 2016 Aug 17;11(8): e0160441. doi: 10.1371/journal.pone.0160441. 査読有  
霜田政美 (2016) “光防除” - 光や色を利用した新しい害虫防除技術- JATAFF ジャーナル 4(7):3-5 査読なし  
徳嶋賀彰・上原拓也・山口照美・蟻川謙太郎・戒能洋一・霜田政美 (2016) 昆虫の光受容に基づく波長選好性のモデル化 JATAFF ジャーナル 4(7):11-15 査読なし

〔学会発表〕(計19件)

大木碩仁、荻野拓海、山口照美、戒能洋一、野呂知加子、蟻川謙太郎、霜田政美、アザミウマ 4種の波長選好性における多様性、第63回日本応用動物昆虫学会、筑波大学、2019年3月

荻野拓海、上原拓也、山口照美、戒能洋一、霜田政美、ナミヒメハナカメムシの歩行活動における日長反応、第63回日本応用動物昆虫学会、筑波大学、2019年3月

Shimoda M (2018) Recent progress in optical control of insect pests with light and color. In Proceeding of the 2018 International Symposium on Proactive Technologies for Enhancement of Integrated Pest Management of Key Crops pp. 87-102

荻野拓海、上原拓也、山口照美、中野昭雄、手塚俊行、戒能洋一、霜田政美、紫色光による捕食性カメムシの誘引と防除効果、第28回天敵利用研究会 大阪大会、大阪産業創造館、2018年11月

荻野拓海、上原拓也、山口照美、市橋隆壽、鈴木孝洋、戒能洋一、霜田政美、天敵誘引光がもたらす圃場の生物相変化、第62回日本応用動物昆虫学会、鹿児島大学、2018年3月

霜田政美 (2017) 昆虫の光応答反応を利用した新しい防除技術の開発 日本生物環境工学会 SHITA シンポジウム 中央大学 招待講演

Shimoda M (2017) Violet light is the most effective wavelength to recruit the predatory bug *Nesidiocoris tenuis*. TARI Research Seminar Taiwan 招待講演

霜田政美 (2017) 昆虫の光応答反応と行動制御技術 第61回日本応用動物昆虫学会、東京農工大学 総会シンポジウム 招待講演

Ogino T, Uehara T, Yamaguchi T, Shimoda M (2017) Violet light enhances attraction of *Nesidiocoris tenuis*. The 5th International Entomophagous Insects Conference; IECE5 Kyoto, Japan.

Shimoda M (2017) 紫色 LED を使って天敵を呼び寄せる技術 光と色を活用した防除研究セミナー 北海道洞爺湖 招待講演

霜田政美 (2017) 昆虫の光応答反応を利用した新しい防除技術の開発 日本照明学会全国大会 東北学院大学 招待講演

荻野拓海、上原拓也、山口照美、市橋隆壽、鈴木孝洋、戒能洋一、霜田政美 (2017) 紫色光の可能性～タバコカスミカメの誘引法～、第61回日本応用動物昆虫学会、東京農工大学、2017年3月

Takumi Ogino, Takuya Uehara, Terumi Yamaguchi, Takahisa Ichihashi, Takahiro Suzuki, Yooichi Kainoh, Masami Shimoda. Violet light enhances attraction of *Nesidiocoris tenuis*. The 5th International Entomophagous Insects Conference; IECE5 Kyoto, Japan 16-20 Oct, 2017.

荻野拓海、上原拓也、鈴木孝洋、戒能洋一、霜田政美、新たな害虫防除技術：紫色 LED 照射で天敵の行動を制御、SAT テクノロジー・ショーケース 2017、つくば国際会議場、2017年1月

Takumi Ogino, Takuya Uehara, Terumi Yamaguchi, Takahisa Ichihashi, Takahiro Suzuki, Yooichi Kainoh, Masami Shimoda. “Attracting the predatory bug, *Orius sauteri*, with light in eggplant field.” 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、大阪大学、2016年3月

Takumi Ogino, Takuya Uehara, Terumi Yamaguchi, Takahisa Ichihashi, Takahiro Suzuki, Yooichi Kainoh, Masami Shimoda. “Spectral preference of the predatory bug *Orius sauteri*, a biological control agent against agricultural pests.” XXV International Congress of Entomology, Orlando, Florida, USA, September, 2016. 招待講演

Masami Shimoda, Takumi Ogino, Takuya Uehara, Terumi Yamaguchi, Takahisa Ichihashi, Takahiro Suzuki, Yooichi Kainoh (2016) Pest control using the predatory bug *Orius sauteri* with lighting devices. XXV International Congress of Entomology, Orlando,

Florida, USA 招待講演

Takuya Uehara, Terumi Yamaguchi, Kentaro Arikawa, Motohiro Wakakuwa, Toyomi Kotaki, Masami Shimoda (2016) Wavelength preference and orientation behavior to light source in the brown-winged green bug, *Plautia stali*. XXV International Congress of Entomology, Orlando, Florida, USA

荻野拓海, 上原拓也, 村路雅彦, 山口照美, 市橋隆壽, 鈴木孝洋, 戒能洋一, 霜田政美 (2016) 紫 LED 照射による天敵ヒメハナカメムシの行動制御と害虫管理、第 26 回天敵利用研究会 徳島大会、阿波観光ホテル、2016 年 8 月

〔図書〕(計 7 件)

荻野拓海、上原拓也、戒能洋一、霜田政美、紫色光が害虫の天敵（カメムシ）を呼ぶ、全国農業改良普及職員協議会、技術と普及、vol.37 冬号、pp29、2019.

霜田政美 (2017) 紫色 LED 照射で天敵のヒメハナ 10 倍、アザミウマ半減 農山漁村文化協会、現代農業 6 月号 206-209

霜田政美 (2017) なす露地栽培で紫色 LED 照射ヒメハナカメムシ誘引に成功 北海道協同組合通信社、ニューカントリー 3 月号 17-18

霜田政美 (2017) 紫色 LED を使った土着天敵ヒメハナカメムシの誘引と害虫管理 全国農業改良普及職員協議会、技術と普及 54(1) 42-44

霜田政美 (2016) 生物の光応答反応を利用した害虫防除技術の開発 農業電化協会、農業電化 69(7):9-1

霜田政美 (2016) 昆虫の視覚応答反応を利用した“光防除”技術 光産業技術振興協会、オプトニュース 11(4)1-8

荻野拓海・上原拓也・山口照美・戒能洋一・霜田政美 (2016) 天敵昆虫ナミヒメハナカメムシの波長選好性と LED を利用した微小害虫の防除 農業電化協会、農業電化 69(5):11-15

〔産業財産権〕

出願状況 (計 3 件)

名称：捕食性天敵の誘引又は定着技術

発明者：霜田政美、上原拓也

権利者：国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

種類：特許

番号：特願 2015-151523、国際特許 PCT/JP2016/067326

出願年：2015

国内外の別：国内/国外

名称：天敵生物の局所的な誘引又は定着方法

発明者：上原拓也、霜田政美

権利者：国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

種類：特許

番号：特願 2018-134799

出願年：2018

国内外の別：国内

〔その他〕

プレスリリース 「光で天敵を集め、害虫を減らす技術を開発」

[http://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/press/laboratory/nias/071030.html](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nias/071030.html)

オプトロニクス <http://www.optronics-media.com/news/20160915/43957/>

霜田政美 (2017) TV 放映「100 年後の害虫防除技術」TBSEARTH Lab (アースラボ)

12.16.放送

霜田政美 (2016)「光で天敵を集め、害虫を減らす技術を開発」読売新聞、日本農業新聞など新聞 9 誌に掲載 2016.9.15~23.

霜田政美 (2016)「光と色で防除 有効」毎日新聞 (十勝版)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：村路 雅彦

ローマ字氏名：MURAJI Masahiko

所属研究機関名：国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

部局名：生理機能利用部門

職名：上級研究員

研究者番号(8桁): 20355746

研究分担者氏名: 上原 拓也

ローマ字氏名: UEHARA Takuya

所属研究機関名: 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

部局名: 生理機能利用部門

職名: 研究員

研究者番号(8桁): 80756023

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。