

# 植物防疫

5

Plant Protection

2019  
VOL.73



一般社団法人 日本植物防疫協会  
Japan Plant Protection Association



Agriculture Division of DowDuPont

生産者と消費者の暮らしを豊かにし、  
今、そして未来の進歩を実現することが私たちの使命です。

### トランスフォーム™

Isoclast™ active

殺虫剤

### ビレスコ™

Isoclast™ active

殺虫剤

### エクシード™

Isoclast™ active

殺虫剤

### スピノエース™

殺虫剤

ゾーベック™

### エニベル™

殺菌剤

ゾーベック™

### エンカンティア™

殺菌剤

### ジマンダイセン™

殺菌剤

### クリンチャー™

水稲用除草剤

### テロン™

土壌くん蒸剤

### 旭D-D

土壌くん蒸剤



Agriculture Division of DowDuPont

ダウ・アグロサイエンス日本株式会社 / デュポン・プロダクション・アグリサイエンス株式会社  
〒100-6110 東京都千代田区永田町2丁目11番1号 山王パークタワー

©.TMが付記された表示は、デュポン、ダウ・アグロサイエンスもしくはバイオニアならびにこれらの関連会社または各所有者の商標です。

農薬関連情報を知りたい方は、まずは農薬工業会ホームページへ。

# 農薬の作用機構分類「RACコード」とは？

「RACコード」についての情報サイトです。

RACコード 工業会

検索



## 農薬の作用機構分類 (RACコード)

### 農薬使用者の皆様へ

このページには農薬の作用機構分類 (RACコード) を掲載していますが、害虫や雑草の薬剤抵抗性や病原菌の薬剤耐性の程度は農作物や地域により異なりますので、実際の薬剤抵抗性対策につきましては地元の病害虫防除所等関係機関などの指導を受けるようにしてください。

### 農薬指導者の皆様へ

このページには農薬の作用機構分類 (RACコード) を掲載していますが、最新の各RAC情報につきましては次のサイトを参照願います。

Insecticide Resistance Action Committee (IRAC、殺虫剤抵抗性対策委員会)

Fungicide Resistance Action Committee (FRAC、殺菌剤耐性菌対策委員会)

Herbicide Resistance Action Committee (HRAC、除草剤抵抗性対策委員会)

## 1. 農薬の作用機構分類 (RACコード) (翻訳)

農薬工業会が所属している国際団体 CropLife International (CLI) の対策委員会が取りまとめた殺虫剤、殺菌剤、除草剤の分類表を日本語に翻訳いたしました。分類表は下記をクリックしてください。

[殺虫剤 \(IRAC\) 2018年6月版 \(Ver. 8.4\)](#)

[殺菌剤 \(FRAC\) 2018年2月版](#)

[除草剤 \(HRAC\) 2018年12月現在](#)



農薬関連情報を知りたい方は  
⇒「[農薬工業会トップページ](#)」へ



動画で楽しくわかりやすく農薬の必要性を知りたい方は  
⇒「[ギャル管根・蛇ちゃんの知っとく!ベジライフ ソレ知りたい!!](#)」へ

### 農薬情報局

#### ▶ 一般向け

「農薬ゼミ」  
「食料生産の重要性和農業の役割」動画版 ……

#### ▶ 教職員向け

「教育関係者セミナーレポート」 ……

#### ▶ 専門向け

「農薬の作用機構分類」 ……



農薬について疑問をお持ちの方は  
⇒「[教えて! 農薬Q&A](#)」へ

実際に農薬をお仕事や趣味でお使いになる方は  
⇒「[農薬をご使用になる方](#)」へ

かんきつ 開花期の  
そうか病・灰色かび病・黒点病を  
同時防除できる。



ナティーボ®  
フロアブル

収穫期の黒点病防除にも、  
収穫前日まで使えます。

●使用前にはラベルをよく読んで下さい。●ラベルの記載以外には使用しないで下さい。●本剤は小児の手の届く所には置かないで下さい。®はバイエルグループの登録商標

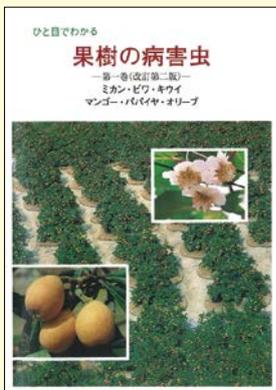
バイエル クロップサイエンス株式会社

東京都千代田区丸の内1-6-5 〒100-8262 <https://cropscience.bayer.jp/>

お客様相談室 ☎0120-575-078 9:00~12:00, 13:00~17:00  
土・日・祝日を除く

# ひと目でわかる 果樹の病害虫

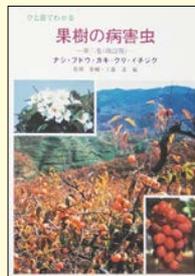
第一巻 (改訂第二版)



本体：6,000円＋消費税，送料実費

ミカン・ビワ・  
キウイに新たに  
マンゴー・パ  
パイア・オリーブ  
を追加!

**最新版**



本体：6,400円＋消費税，送料実費

# ひと目でわかる 果樹の病害虫

第二巻 (改訂版)

ナシ・ブドウ・カキ・クリ・  
イチジク (在庫僅少)



本体：7,800円＋消費税，送料実費

# ひと目でわかる 果樹の病害虫

第三巻 (改訂第二版)

リンゴ・マルメロ・カリン・モモ・  
スモモ・アンズ・プルーン・ウメ・  
オウトウ・ブルーベリー・ラズベ  
リー・ハスカップ

一般社団法人  
日本植物防疫協会 支援事業部

〒114-0015 東京都北区中里2丁目28番10号  
電話 03-5980-2183 FAX 03-5980-6753  
<http://www.jpfa.or.jp/order@jpfa.or.jp>

シリーズ好評  
発売中!

## 目次

### 巻頭言

「診断」を巡る雑感……………大藤 泰雄 1

### 総説

長崎県の暖地二期作バレイショ栽培におけるジャガイモシストセンチュウの  
根絶に向けた防除モデル……………福吉賢三・寺本 健・菅 康弘 2

### 研究報告

オオバのシソサビダニとモザイク病  
—シソサビダニとシソモザイクウイルスの生態および検出技術—  
……………上遠野富士夫・多々良明夫・鍵和田 聡・鈴木良地・千秋祐也・久保田健嗣 9

オオバのシソサビダニとモザイク病対策  
—総合防除体系の開発と産地への普及の取り組み—……………下八川裕司・森田泰彰・恒川健太 15

茨城県におけるミズナ立枯れ症の発生実態と防除対策……………林 可奈子・宮本拓也・田中弘毅 19

### 新技術解説

イネいもち病抵抗性を定量的に評価する室内接種系の構築……………高原 浩之 25

### 日植防シンポジウムから

農業生産現場におけるマルチコプターの活用例……………吉田 隆延 28

気象データを利用した害虫の発生予測  
—メッシュ農業気象データシステムを利用した害虫の発生予測の利点と課題—……………西野 実 33

### 植物防疫講座

病害編-17 麦類赤かび病の発生生態と防除……………吉田 めぐみ 36

虫害編-15 イネシンガレセンチュウの発生生態, 調査法および防除法……………星野 滋 42

虫害編-16 斑点米カメムシ類の生態と防除-1  
—カスミカメムシ類—……………樋口 博也 49

農薬編-17 プロトン勾配を攪乱する酸化的リン酸化脱共役殺虫剤  
—ピロール系—……………郡嶋浩志・竹田 遼・加藤良晃・瀬古隆司 56

### 研究室紹介

岐阜県農業技術センター 病理昆虫部……………天野 昭子 64

滋賀県農業技術振興センター 環境研究部 病害虫管理係……………江波 義成 65

農林水産省プレスリリース (2019.3.8~2019.4.5)……………55

新しく登録された農薬 (2019.3.1~3.31)……………32

登録が失効した農薬 (2019.3.1~3.31)……………24

発生予察情報・特殊報 (2019.3.1~3.31)……………61

#### 【表紙写真】

上左：シソモザイクウイルスによるオオバのモザイク病  
上右：シソサビダニの寄生によるさび症  
下左上：アカヒゲホソミドリカスミカメ成虫  
下左下：アカスジカスミカメ成虫  
下右：コムギ赤かび病



**□・BASF**

We create chemistry

## 唯一の系統<sup>※</sup>で 幅広い害虫から作物を守る

※ 殺虫剤分類 (IRACコード) 13 に分類、且つ販売されている殺虫剤は  
コテツ (クロルフェナビル) のみです



### 殺虫スペクトルが広い

チョウ目、アザミウマ目、ダニ目、  
カメムシ目、コウチュウ目、ハエ目  
等に効果を示します。

幅広い害虫種に効果を示すことから、  
同時防除が可能です。

### 適用作物が多い

**100以上**の作物に  
使用できます。



### ユニークな作用性

呼吸系阻害剤です。

同系統の薬剤がないこと  
からローテーションの1剤と  
して有効活用できます。

難防除害虫に効く

# コテツ<sup>®</sup>フロアブル

®=BASF社の登録商標

**BASFジャパン株式会社**

東京都中央区日本橋室町3丁目4番4号 OVOL日本橋ビル3階  
☎0120-014-660 <https://agriculture.basf.com/jp>


 巻頭言

## 「診断」を巡る雑感



国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 おお とう やす お  
 中央農業研究センター 病害研究領域長 大 藤 泰 雄

毎年のように「健康診断」を受ける。そっと開く結果の通知の中で、年々増えるC判定に加えて、時に出現するD判定に、模擬試験の合格判定のような挫折感はないが、よい気持ちはしない。農業の世界でも、最近、「〇〇診断」は流行だ。「健康」の「診断」という言葉が気になって、「診断」を広辞苑で調べてみた。「医師が患者を診察して、病状を判断すること。」とある。「診察」は、「医師が患者の体を調べて、病状・病因などを探ること」、「患者」は、「病気にかかったりけがをしたりして医師の治療を受ける人。」だそうだ。患者の「患」の字は、「うれい・わずらい」を表す。つまり、診断とは、何か「うれい・わずらい」を訴える人に対して、医師が関連する情報の収集と分析に基づき、リスクを特定して、対処方法を考えるリスクアナリシスである。だから、特段「うれい・わずらい」がない「健康」な私が受けているのは「診断」ではなく「検査」である。健康そうな私が「検査」を受ける理由は、無自覚の中でリスクが高い特定の病気を見逃さぬためである。だから、血圧やコレステロール等何かの指標に「異常」が見つかる、「うれい・わずらい」が生じて原因の特定のために精密検査を受けることになるが、そこからが本当の「診断」というわけだ。では、植物防疫の現場での「診断」ではどうだろう。

まず思い浮かぶのは、植物に認められたある異常に対して、その病原体を特定して対策を示すための「〇〇病の診断」だろう。しかし、近年、次世代型シーケンサーなどの機器の利用により病原体遺伝子の網羅的検出が比較的容易になってきた中で、上記の診断の考え方が十分整理されて、体系化されていないように感じることもある。例えば、植物体から病原の遺伝子断片が検出されるかどうか調べることを「〇〇病の遺伝子診断」と表現する例が絶えないが、二つの意味で間違っている。「遺伝子診断」とは、ある生物の特定の遺伝子の型と、その結果現れる異常あるいは異常に伴うリスクの関係性が相当程度わかっている場合、患者の遺伝子の型を調べて対応の可否を判断することなので、元々意味が違う。さらに、生産現場が求めている診断の目的は、認められた異常をどうにかすることであるから、ある症例で疑わしい病原体またはその遺伝子が検出されるか否かは一検査項目に過ぎず、それだけで診断とは呼べない。ある症状について診断を下そうとしたら、病原体以外による異常の可能性についても検討する必要がある。これは他人事ではな

い。かつて、カンキツのグリーンング病を研究していたときに、無接種の対照区にまでグリーンング病に特徴的な鉄欠乏様症状が多発したことがあった。全く病原体が検出されない中で、カンキツ栽培の専門家や水質の専門家に相談して、そのとき散水していた水が、夏期の高温下で貯水されていた水で、pHが高いためグリーンング病罹病株と同じ鉄欠乏が生じていることが原因であるとわかって事なきを得た。診断には、特定の病原体や検査指標の情報だけではなく、問題としている症状が発生した状況（植物の生理、気象、土壌、水、作物栄養、栽培体系の詳細等）に関する情報が必須であることを思い知った。

ほかに植物防疫の現場の診断で考えられるのは、既知の病害の想定されるリスクの上昇に対して、特に異常を認めない段階で警鐘を鳴らし、予防策を示すというケースであろう。例えば、土壌病害においては、1980年代から診断工程の体系的な整理が試みられて、現在では「ヘソディム」としてアブラナ科の根こぶ病対策で利用されている。そのほかに、BLASTAMなど気象データに基づく特定の病害に対する早期警戒や発生予察もある意味では、疫学的な「診断」である。これらの診断に際しては、気象データ、作付けや発病の履歴、品種、作型、肥培管理、土壌の各種性質、用いる検査技術の精度、果ては地形まで、様々な情報の分析が必要となる。また、この手の診断では、被害やリスクが未確定の段階から検査コストをかけることになるので、その費用に見合った便益が得られるかどうか、診断導入の有効性の判断にも上記の情報が必要であろう。

こうして、改めて考えてみると、診断は様々な情報の統合により成り立っている。一方で、病害診断の研究は病原体の検出・同定や個別の検査技術に重きが置かれ、情報の統合と対応策の提示の部分は、多岐にわたる知識と複雑な判断が求められることから、リスクコミュニケーションスキルと合わせて専門家の経験に頼ってきたようにも思える。しかし、多数の品目を相手にする植物防疫の現場では、一人の専門家の対応には限界があるだろう。そうであるなら、今の時代、高リスクな重要病害虫からでもいい、限られた専門家の知恵や経験を共有して高度化するために、先端の情報科学を利用したデータ駆動型の診断支援手法の開発と、そのためのデータベースの整備を本気で考えるべきではないかと思う。

(「植物防疫」編集委員)



# 長崎県の暖地二期作バレイシヨ栽培における ジャガイモシストセンチュウの根絶に向けた 防除モデル

長崎県農林技術開発センター ふくよし けんぞう てらもと たけし すが やすひろ  
福吉 賢三・寺本 健・菅 康弘

## はじめに

ジャガイモシストセンチュウ (*Globodera rostochiensis*) は南米原産といわれ、ヨーロッパのジャガイモ栽培地帯を中心に、北米、中南米、南アフリカ、ニュージーランド、インド、スリランカ、日本等に分布する(奈良部・稲垣, 1992) バレイシヨの難防除害虫である。日本では、1972年に北海道で初めて確認され(YAMADA et al., 1972), その後1992年に長崎県で発生が確認された(中須賀・中園, 1996)。本県では、発生当初より防除対策に取り組んできた(寺本ら, 1998)。しかし、本線虫はシスト内に卵を内蔵するため、温度や湿度等の環境変化や薬剤に対する耐性が高く、内部の卵は10年以上の長期間生存することも可能(相場・稲垣, 1992)である。そのため、一度発生すると侵入後の防除が困難であり、有効な防除手段がないのが現状である。また、本線虫による被害は、収量の減少にとどまらず、植物防疫法で指定される重要病害虫であるため本線虫の発生圃場では種いも生産ができないことから、種いもの供給が滞り地域のバレイシヨ生産体系への影響も懸念されている。このような状況の中で、発生地域の拡大防止さらには根絶に向けた防除技術の早急な開発が求められている。

そこで、本線虫に対して防除効果の高い防除モデルを検討するとともに、本線虫を高感度に検出し根絶を確認するための手法を検討して、知見を得たので紹介する。

なお、本研究は、2012~14年度にレギュラトリーサイエンス新技術開発事業(ジャガイモシストセンチュウの根絶を目指した防除技術の開発と防除モデルの策定)委託事業により実施した。

Examination of the Control Model for Extermination of the Potato Cyst Nematode, *Globodera rostochiensis*, by the Double Cropping Potato Cultivation in Nagasaki Prefecture. By Kenzo FUKUYOSHI, Takeshi TERAMOTO and Yasuhiro SUGA

(キーワード: 暖地二期作, バレイシヨ, ジャガイモシストセンチュウ, 根絶, 防除モデル)

## I ジャガイモシストセンチュウの根絶に向けた防除モデル

### 1 暖地二期作バレイシヨ栽培での導入に適する緑肥植物の選定

長崎県の暖地二期作バレイシヨ栽培では、春作収穫後から秋作植付前までの期間に、土壌流防防止と土づくりのため緑肥植物の栽培を推進している。これまでの知見で、ナス科植物のトマト野生種とハリナスビはジャガイモシストセンチュウに対する密度低減効果が高い(山田ら, 2007)ことが知られているが、ナス科植物は本県のバレイシヨで問題となる青枯病の発生を助長することが考えられる。

そこで、長崎県の暖地二期作栽培に導入が可能であると考えられる緑肥植物を選定して栽培試験を行い、供試した緑肥植物の生育量およびジャガイモ青枯病菌への感染の有無、緑肥植物栽培後に後作として栽培したバレイシヨでの青枯病の発生の有無について調査した。

緑肥植物としてナス科植物のハリナスビ‘ロケットリーフ’、トマト野生種、マメ科植物のクロタリアスベクタピリス‘ネマキング’、キク科植物のヒマワリ‘ハイブリッドサンフラワー’、イネ科植物のギニアグラス‘ナツカゼ’、スーダングラス‘ねまへらそう’、ヒエ栽培種‘青葉ミレット’、ヒエ栽培種‘グリーンミレット’、ヒエ栽培種‘ホワイトパニック’、エンバク野生種‘ヘイオーツ’、ライ麦‘R-007’の11草種を供試した。2012年7月12日に1/2,000 aのワグネルポットに緑肥植物の種子を1草種当たり6ポット(無処理は3ポット)に播種して、野外で栽培管理した。その後、各緑肥植物のジャガイモ青枯病菌に対する感染の有無を調査するために、8月7日にジャガイモ青枯病菌保存株のAA3114株、AA3123株およびAA4017株の3菌株を各菌株当たり2ポットずつ接種した。接種方法は、断根灌注接種法(尾崎・木村, 1989)に準じて約 $10^9$  cfu/mlに調整した菌液を1ポット当たり1 mlずつ断根部位に灌注し、接種21日後の8月

28日に発病程度の判定を行った。次に、9月4日に地上部を細断してポット内土壌に鋤き込み、野外で約3週間腐熟させた後、バレイショ種いも（品種：‘アジマ’）を1ポット当たり3個ずつ植え付けた。その後は、ガラス室内に移して栽培し、後作バレイショでの青枯病の発病程度を調査するとともに、生存茎をすべて回収し、地際部を原・小野（1984）の選択培地にスタンプして青枯病菌の感染の有無を調査した。

ハリナスビはAA3114株およびAA4017株の接種により発病し、トマト野生種はすべての菌株に対して罹病性を示した。また、緑肥植物に発病を確認したポットでは、後作に植え付けたバレイショで青枯病の発病が認められた。なお、ヒマワリでは、3菌株の接種とも発病は認められなかったが、AA3114株を接種したポットで、後作バレイショの発病が確認された。このことから、AA3114株はヒマワリに潜在感染するか、または根圏で増殖する可能性が示唆された。また、ヒエ栽培種‘青葉ミレット’にAA3114菌株を接種した結果、緑肥植物および後作バレイショに青枯病の発病は見られなかったが、後作バレイショに青枯病菌の感染が認められた。

以上の試験の結果、青枯病に罹病性であるナス科植物のトマト野生種とハリナスビに加えて、後作バレイショで発生が認められたキク科植物のヒマワリはバレイショ圃場で栽培する緑肥植物には適さず、後作バレイショに青枯病菌の感染が認められたヒエ栽培種‘青葉ミレット’を除いたイネ科植物が適することが明らかになった。その中でも、スーダングラスの‘ねまへらそう’は、緑肥植物の作付け時期である夏季の高温条件下における生育が最も良好であるとともに、バレイショ二期作栽培を行う現地圃場で既に導入が進んでいることから、最も適する緑肥植物であると考えられた（表-1）。

## 2 防除モデルの効果

ジャガイモシストセンチュウの根絶を目指した防除モデルを策定するため、ジャガイモシストセンチュウの抵抗性品種とジャガイモ青枯病の発生を回避し線虫低減効果が期待されるイネ科緑肥作物であるスーダングラスの‘ねまへらそう’を利用した「春作バレイショ（抵抗性品種）—イネ科緑肥—秋作バレイショ（抵抗性品種）」の輪作を2012～14年に長崎県の二期作バレイショ地帯の現地農家圃場で行い、本体系による防除効果を検討した。

試験は、2012年秋作から14年秋作まで同一圃場で行った（表-2, 3）。試験圃場の土性は細粒黄色土で、バレイショ品種はジャガイモシストセンチュウに感受性である‘ニシユタカ’および抵抗性である‘アイユタカ’を用いて、春作および秋作にマルチ被覆栽培を行った（表-2,

3）。栽植密度は畝幅65cm、株間20cm、施肥および栽培管理は現地農家慣行に準じた。緑肥植物（スーダングラス‘ねまへらそう’）は春作収穫直後（6月上旬）に播種し、秋作作付前の8月上旬に細断して中旬に土壌中に鋤き込んだ。

土壌中の線虫密度調査は、従来法であるシストふるい分け—卵計数法により行い、2012年緑肥播種前：6月1日、秋作植付前：9月10日、2013年春作植付前：1月10日、春作収穫後：5月21日、秋作植付前：9月6日、2014年春作植付前：1月15日、春作収穫後：5月23日、秋作植付前：9月8日、秋作収穫後12月9日に採取した各区の土壌について、シスト数および卵数を調査した。なお、供試した土壌は、各区を9等分した中央部を半管状土壌サンプラー（線虫スコップ）を用いて、地表面から20cmまでの深さまで垂直に採取した。

また、春作および秋作の収穫期（2012年秋作：12月19日、13年春作：5月13日、13年秋作：12月10日、14年春作：5月9日、14年秋作：12月9日）に各区30株（連続10株×3箇所）のバレイショ根部を掘り上げて、バレイショ根部に寄生するジャガイモシストセンチュウの寄生程度を調査し、シスト寄生指数を算出した（表-4）。

### （2）結果および考察

試験を開始した2012年6月1日における各区のシスト数/50g乾土は、平均152.6個（113.0～166.7）、卵数/1g乾土は、平均22.0個（9.0～36.3）であった。2012年春作収穫後の試験開始時から、感受性品種区では試験期間中を通して、多数のシストおよび卵が認められた。収穫期におけるバレイショ根部のシスト寄生程度もやや高い状況で推移しており、同様の傾向を示した。それに対し、抵抗性品種を作付けた1, 2区では、シスト数および卵数が極めて低い密度になった（図-1, 表-5）。

これらのことから、長崎県の暖地二期作バレイショ栽培におけるジャガイモシストセンチュウ汚染圃場での根絶を目指した防除モデルは、抵抗性品種の春作と秋作の連作が有効であると考えられた。一方、抵抗性品種の効果が高かったために緑肥植物のスーダングラス‘ねまへらそう’による密度低減効果は明確ではなかった。

## II ジャガイモシストセンチュウの根絶を確認するための手法

寄生活性のある線虫のみを簡便かつ高精度に検出できるとされるプラスチックカップ検診法（奈良部ら、2007）の暖地二期作バレイショ栽培での実用性を検証するとともに、有効な土壌サンプリング法について検討した。これまで、ジャガイモシストセンチュウの土壌中の

表-1 暖地二期作バレイショ栽培で導入可能な緑肥植物のジャガイモ青枯病感染のリスク

NO.	植物名 (品種名)	接種 菌株	緑肥 (8/28 調査)		後作ジャガイモ (10/29 調査)		
			生草重 (g/ポット)	発病程度	発病程度	調査茎数	感染茎率 (%)
1	ハリナスビ (ロケットリーフ)	AA3114		4	2	13.0	53.8
		AA3123	47.3	0	0	12.0	0.0
		AA4017		1	2	7.5	33.3
2	トマト野生種	AA3114		2	1.5	12.0	45.8
		AA3123	12.3	1	2	10.5	19.0
		AA4017		1	1.5	7.5	26.7
3	クロタリリア スペクタピリス (ネマキング)	AA3114		0	0	4.0	0.0
		AA3123	308.3	0	0	4.5	0.0
		AA4017		0	0	8.5	0.0
4	ヒマワリ (ハイブリッドサンフラワー)	AA3114		0	2.5	4.5	73.3
		AA3123	163.3	0	0	4.5	0.0
		AA4017		0	0	9.0	0.0
5	ギニアグラス (ナツカゼ)	AA3114		0	0	3.5	0.0
		AA3123	253.3	0	0	4.0	0.0
		AA4017		0	0	7.5	0.0
6	スーダングラス (ねまへらそう)	AA3114		0	0	3.0	0.0
		AA3123	320.0	0	0	0.0	0.0
		AA4017		0	0	3.0	0.0
7	ヒエ栽培種 (青葉ミレット)	AA3114		0	0	7.0	25.0
		AA3123	200.0	0	0	6.0	0.0
		AA4017		0	0	13.0	0.0
8	ヒエ栽培種 (グリーンミレット)	AA3114		0	0	7.0	0.0
		AA3123	236.7	0	0	5.5	0.0
		AA4017		0	0	12.5	0.0
9	ヒエ栽培種 (ホワイトパニック)	AA3114		0	0	3.5	0.0
		AA3123	236.7	0	0	7.5	0.0
		AA4017		0	0	11.0	0.0
10	エンバク野生種 (ハイオーツ)	AA3114		0	0	8.0	0.0
		AA3123	73.7	0	0	6.0	0.0
		AA4017		0	0	14.0	0.0
11	ライ麦 (R-007)	AA3114		0	0	5.0	0.0
		AA3123	12.8	0	0	8.5	0.0
		AA4017		0	0	13.5	0.0
12	接種無処理	AA3114		-	0	4.0	0.0
		AA3123	-	-	0	5.5	0.0
		AA4017		-	0	9.5	0.0
13	無処理	-	-	-	0	8.7	0.0

注1) 生草重は6反復 (3接種菌株×2反復) の平均値, その他の数値は2反復 (無処理区は3反復) の平均値。  
発病程度; 0: 発病なし。

- 1: ポット全体の1/4の植物体に明らかな萎凋または枯死が見られる。
- 2: ポット全体の1/4~1/2の植物体に明らかな萎凋または枯死が見られる。
- 3: ポット全体の1/2~3/4の植物体に明らかな萎凋または枯死が見られる。
- 4: ポット全体の3/4以上の植物体に明らかな萎凋または枯死が見られる。

表-2 試験圃場の耕種概要 (2012年秋作~2014年秋作)

試験年次	作型	バレイショ品種	作業時期		
			植付	マルチ被覆	収穫
2012	秋作マルチ栽培	アイユタカ ニシユタカ	9/21	10/3 (透明マルチ)	12/19
2013	春作マルチ栽培	アイユタカ ニシユタカ	1/20	2/17 (黒マルチ)	5/18
2013	秋作マルチ栽培	アイユタカ ニシユタカ	9/24	10/3 (透明マルチ)	12/22
2014	春作マルチ栽培	アイユタカ ニシユタカ	1/23	2/15 (黒マルチ)	5/21
2014	秋作マルチ栽培	アイユタカ ニシユタカ	9/24	10/3 (透明マルチ)	12/16

表-3 試験区の構成 (2012年秋作~2014年秋作)

区 No.	処理内容	バレイショ品種	緑肥
1	抵抗性品種+緑肥	アイユタカ	スーダングラス
2	抵抗性品種	アイユタカ	-
3	感受性品種	ニシユタカ	-

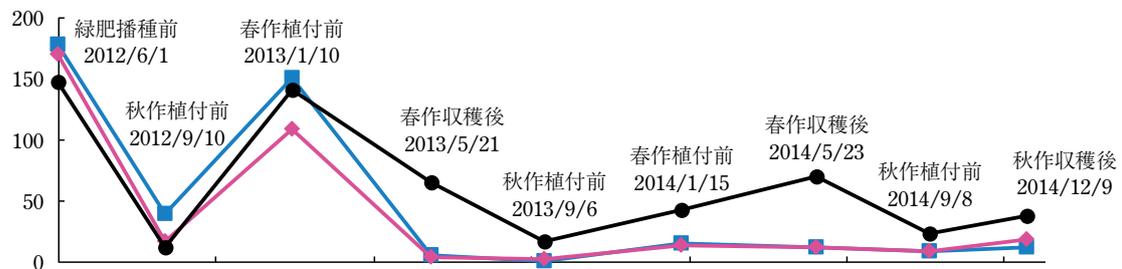
注) スーダングラスの品種「ねまへらそう」.

表-4 ジャガイモシストセンチュウの寄生程度

階級値	寄生程度
0	シストが全く認められない
1	シストがごくわずかに認められる(ようやく認められる)
2	シスト中程度認められる(散見される)
3	シストが多数認められる
4	シストが極めて多数認められる(密集している)

注) シスト寄生指数 = (階級値 × 当該株数) / (調査株数 × 4) × 100.

(シスト数/50g 乾土)



(卵数/1g 乾土)

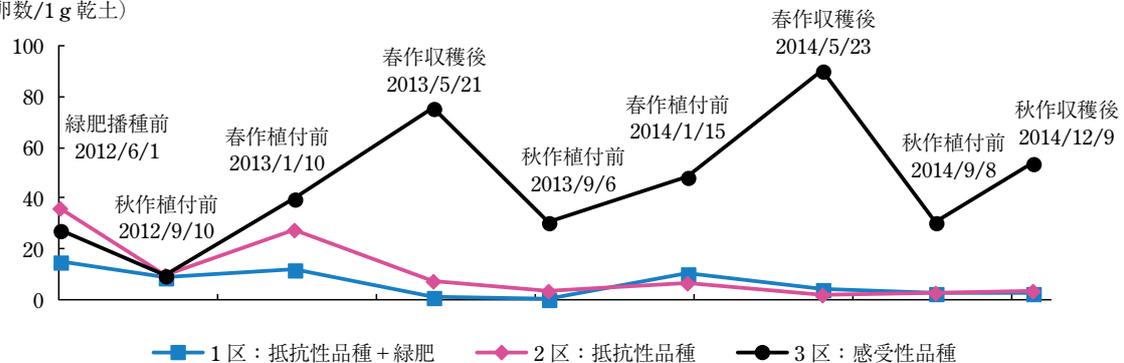


図-1 シスト数および卵数の推移 (2012~14年)

表-5 各収穫期のバレイショ根部へのシスト寄生程度

区 No : 処理内容	2012 秋作	2013 春作	2013 秋作	2014 春作	2014 秋作
1 区 : 抵抗性品種 + 緑肥	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2 区 : 抵抗性品種	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3 区 : 感受性品種	44.2	83.3	35.0	51.7	72.5

注) 表中の数値は寄生程度 (指数). 各区 30 株 (10 株 × 3 箇所) 調査.

調査日は, 2012 秋作 : 12/19, 2013 春作 : 5/13, 2013 秋作 : 12/10, 2014 春作 : 5/9, 2014 秋作 : 12/9.

垂直分布については, 高倉・山田 (1981) が北海道の耕土の深さが 30 cm の圃場で調査を行い, 線虫密度が深さ 30 cm まではほぼ均一に分布し, 30 cm 以下は極めて低密度であったと報告しているが, 暖地二期作栽培での垂直分布は明らかにされていない。そこで, 本県での線虫の採集時期と垂直分布の関係並びに最も有効なサンプリング方法および時期を明らかにするために, 調査を実施した。

2013 年春作植付前 : 1 月 10 日, 13 年春作収穫後 : 5 月 21 日, 13 年秋作植付前 : 9 月 6 日, 14 年春作植付前 : 1 月 15 日, 14 年春作収穫後 : 5 月 23 日, 14 年秋作植付前 : 9 月 8 日に各試験区から採取した土壌について, 従来法 (シストふるい分け一卵計数法) で調査した土壌と同一の試料を用いて, プラスチックカップ検診法を行い新生シスト数を調査した。

プラスチックカップ検診法は, 供試土壌 40 g を透明のプラスチックカップに入れ, ジャガイモシストセンチュウの感受性品種である ‘ニシユタカ’ の催芽処理をした 20 g 程度の小粒いもを, 18℃ の暗黒条件で栽培し, 約 2 か月後に肉眼でカップ外側から根に形成された新生シスト数を計数した。

さらに, 土壌の深度別に線虫密度調査を行った。上記の土壌採取時期のうち, 2013 年秋作植付前, 14 年春作植付前, 14 年春作収穫後, 14 年秋作植付前に, 各試験区の土壌を 3 段階の深度 (地表面 ~ 10 cm, 10 ~ 20 cm, 20 ~ 30 cm) 別に半管状土壌サンプラーにより採取し, 同一試料を用いて従来法とプラスチックカップ検診法の両手法により線虫密度を調査した。なお, 土壌採取にあたっては, 採集箇所による線虫密度のばらつきがないよう, 半管状土壌サンプラーで開けた穴を垂直に地表面から 3 段階の深度別に採取した。

また, 従来法でわずかに検出される卵の生死を見極めるために, 2014 年秋作植付前に各試験区から採取した土壌について, 卵の活性の有無を調査した。調査は, 乾燥土壌 50 g から従来法により得られた卵懸濁液に水を加えて 50 ml にして約 14 日間冷蔵した。その後, 上澄みを捨て 10 ml にして 22℃ に 7 日間静置した後, ふ化促

進物質ソラノエクレピン A 水溶液 (谷野, 2014) の  $2 \times 10^{-9}$  g/ml を 1 ml 添加してよく攪拌し, 22℃ で 10 日間静置して卵をふ化させ, ベールマン法により 72 時間後に分離された二期幼虫数を調査した。

従来法であるシストふるい分け一卵計数法による卵数とプラスチックカップ検診法による新生シスト数を比較すると, ほぼ同様の傾向が見られ (図-2), 調査結果には高い相関が認められた (図-3)。

しかし, 従来法による卵数は, 抵抗性品種の ‘アイユタカ’ を作付けた 1~2 区では, 各深度とも発生を認めたが極めて低い密度であった。それに対し, 同一試料を用いて行ったカップ法による新生シストは, 発生を認めなかった (図-2, 他のデータ略)。

そこで, わずかに検出される卵の活性の有無を見極めるために, 卵の懸濁液にふ化促進物質ソラノエクレピン A 水溶液を添加して, ふ化させた二期幼虫を調査すると, 抵抗性品種を連続して作付ける土壌からは二期幼虫を確認できず, プラスチックカップ検診法の結果と一致した (図-4)。

このように, 卵の活性が認められなかったことから, 肉眼で生死の判定を行う従来法では活性のない卵を生卵として計数していることが考えられた。このことから, 線虫の絶滅を見極めるような低密度下における検診では, 活性のある卵のみがカップ内に新生シストを形成し, そのシスト数を調査するプラスチックカップ検診法の精度が高いことが明らかになった。

次に, 線虫の垂直分布を明らかにするため, 土壌深度と線虫密度の関係を比較した。その結果, いずれの採取時期の土壌からも, 地表面 ~ 10 cm の深さの土壌に最も多く, 次いで 10 ~ 20 cm, 20 ~ 30 cm の深さの順に多いことが明らかになった (図-2, 4)。

次に, 感受性品種の ‘ニシユタカ’ を連続栽培した区における採取時期と線虫密度の関係をみると, 2013 年春作収穫直後の 5 月 21 日および 2014 年春作収穫直後の 5 月 23 日に採取した土壌中の卵密度が他の調査時期より高かった (図-1)。

これらのことから, 長崎県の暖地二期作バレイショ栽

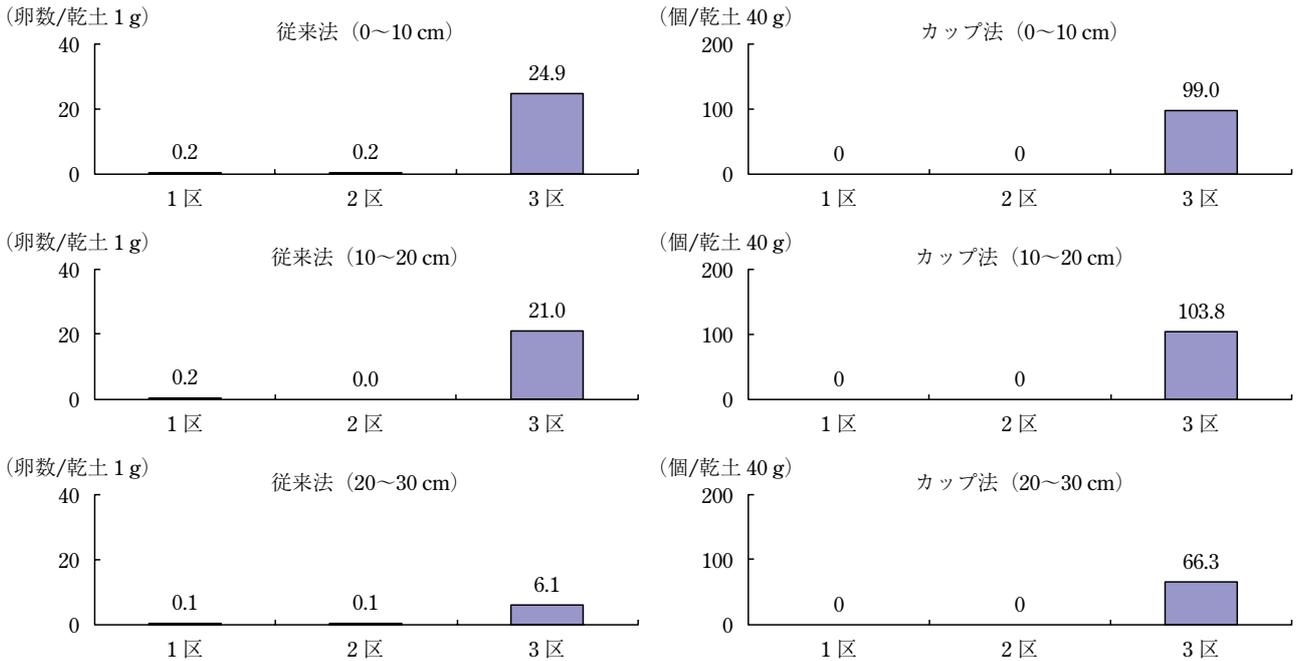


図-2 2014 年秋作植付前（2014 年 9 月 8 日）土壌における線虫の垂直分布  
 注) 供試土壌は、半管状土壌サンプラーにより各区 30 箇所土壌を深度別に採取。  
 カップ法は 18℃の暗所で 60 日間栽培後に調査。卵数（従来法）は 3 反復，新生シスト数（カップ法）は 4 反復。

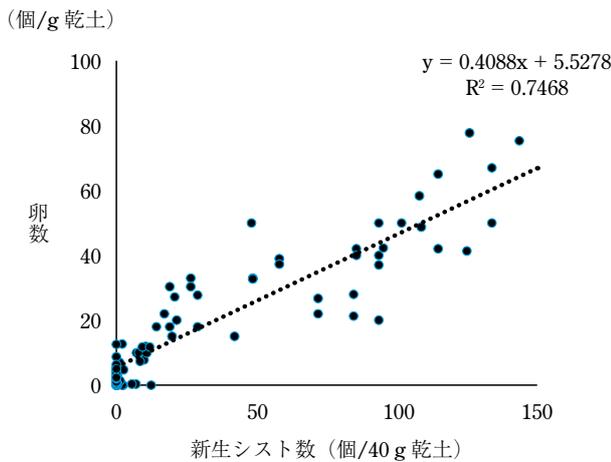


図-3 カップ法による新生シスト数と従来法による卵数の関係 (n = 107)  
 注) 試験区外のデータを含む。

培において線虫の根絶を確認する手法として、春作収穫直後の耕耘前に地表面～10 cm の深さの土壌を採取し、プラスチックカップ検診法で新生シストの形成を確認することが最も有効であると考えられる。

### おわりに

暖地二期作バレイショ栽培で発生している難防除害虫であるジャガイモシストセンチュウに対して、防除効果の高い技術を開発し、本線虫の根絶を目指した防除モデルを策定することを目的として取り組んだ。その結果、抵抗性品種の連続栽培の効果が高く、2 作連続栽培で土壌中の線虫密度は極めて低くなり、抵抗性品種 4 作連続作付け後の土壌中の卵は活性が認められないことから、抵抗性品種区のシストセンチュウは根絶された可能性が

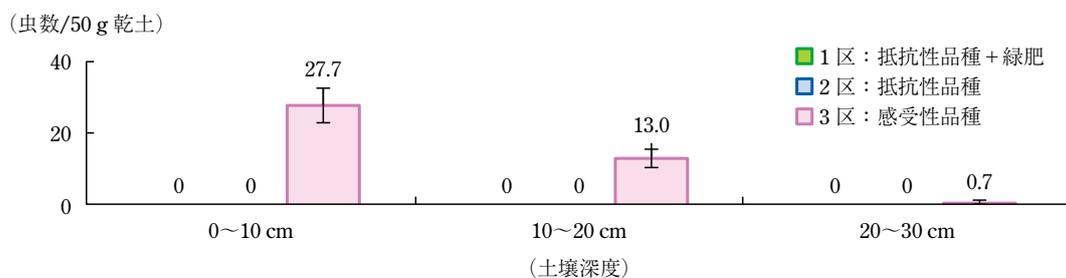


図-4 2014 年秋作植付前（14 年 9 月 8 日）土壌における土壌深度と生存二期幼虫数  
 注) 各区土壌から分離したシストを破碎して得られた卵の懸濁液にふ化促進物質ソラノエクレピン A 水溶液を加用してふ化させた後、パールマン法により 72 時間後に分離された二期幼虫数を調査した。抵抗性品種の 1~2 区は全深度とも発生を認めず、数値は 3 反復の平均値を示す。エラーバーは標準誤差。

あると考えられたが、厳密なレベルでの根絶を証明するためには、さらに継続的な調査が必要である。なお、試験圃場の線虫密度や土壌および気象等の条件が異なる条件下による試験も必要であり、今後、さらに試験データを蓄積して、これらの条件と根絶の関係を明らかにしていかなければならない。

なお、防除効果の高い技術として期待されるふ化促進物質資材（奈良部，2012）の暖地二期作栽培における有効な処理時期についても検討したが、効果が安定しなかった（福吉ら，2016）。これは処理時期の地温や土壌水分量等の要因によるものと考えられたが、生産現場への普及を考えると、さらに効果を安定させる技術の開発が必要である。一方、対抗植物の活用について、これからも探索と検討が必要である。

本稿は、紙面の都合から研究の一部を抜粋して紹介したが、福吉ら（2016）に詳細に記載しているので参照し

ていただきたい。

#### 引用文献

- 1) 相場 聡・稲垣春郎（1992）：線虫研究の歩み，日本線虫研究会，つくば，p.121～124.
- 2) 福吉賢三ら（2016）：長崎農林技セ研報 7：39～61.
- 3) 原 秀紀・小野邦明（1984）：植物防疫 38：76～79.
- 4) 中須賀孝正・中園和年（1996）：日本線虫学会第4回大会講演予稿集：13.
- 5) 奈良部 孝・稲垣春郎（1992）：線虫研究の歩み，日本線虫研究会，つくば，p.82～86.
- 6) ————ら（2007）：北海道農業研究センター報告：103～106.
- 7) ————（2012）：日本線虫学会第20回大会講演要旨：37.
- 8) 尾崎克己・木村俊彦（1989）：中国農研報 4：103～117.
- 9) 高倉重義・山田英一（1981）：北日本病害虫研究会報 32：54～56.
- 10) 谷野圭持（2014）：日本農芸化学会雑誌：34～37.
- 11) 寺本 健ら（1998）：長崎総農林試研報 24：39～62.
- 12) 山田英一ら（2007）：日本線虫学会誌 37：21～36.
- 13) YAMADA, E. et al.（1972）：Jpn. J. Nematol. 2：12～15.

# 研究 報告

## オオバのシソサビダニとモザイク病 —シソサビダニとシソモザイクウイルスの生態および検出技術—

法政大学生命科学部 かど の 上遠野 ふじお 富士夫・たたら 多々良 あきお 明夫・かぎわだ 鍵和田 さとし 聡

愛知県農業総合試験場 すず 鈴 き 木 りょう 良 じ 地

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 ちあき 千秋 ゆうや 祐也\*・くぼた 久保田 けんじ 健嗣  
中央農業研究センター

### はじめに

オオバ（青シソ）（*Perilla frutescens* L.）は主に施設栽培により周年生産され、2014年の全国の作付面積は174 ha、収穫量は5,302トンである。主な生産地は愛知県、茨城県、大分県、高知県であり、この4県で全国のおよそ9割を占める（農林水産省、2017）。

オオバのモザイク病（図-1上）は、生産物である葉に葉脈の退緑、黄化や奇形を生じる病害であり、愛知県では1980年代から発生していたと考えられるが、長らくその原因が不明であった。2000年ころからは高知県でも発生が見られるようになったことから、その原因究明のための研究が高知県農業技術センターと農研機構中央農業研究センターにより実施され、新種の植物ウイルスであるシソモザイクウイルス（*Perilla mosaic virus*, 以下 PMoV）がモザイク病の原因であることが明らかとなった。また、調査の過程で、PMoVの媒介虫がフシダニ類の一種であるシソサビダニ（*Shevtchenkella* sp.）であることや、PMoVとシソサビダニは他の主要オオバ生産県でも発生していることが確認された（高知県、2014 a；2014 b；大分県、2014；2016；愛知県、2015 a；2015 b；茨城県、2015）。

そこで、2015～2017年度に農研機構、高知県、愛知県、大分県、法政大学により実施された農林水産省農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業において、シソサビダニと PMoV の生態を解明するとともに、これらの検出技術、および耕種的防除と薬剤防除を組合せた総合防

除体系を確立した。また、検出マニュアルと防除マニュアルを作成し、農研機構ホームページより公開している（農研機構 編、2018 a；2018 b）。

本特集では2編に分けて、前編（本稿）ではシソサビダニと PMoV の生態と診断技術を紹介し、後編では、開発された防除体系と産地での普及の取り組みについて紹介する。

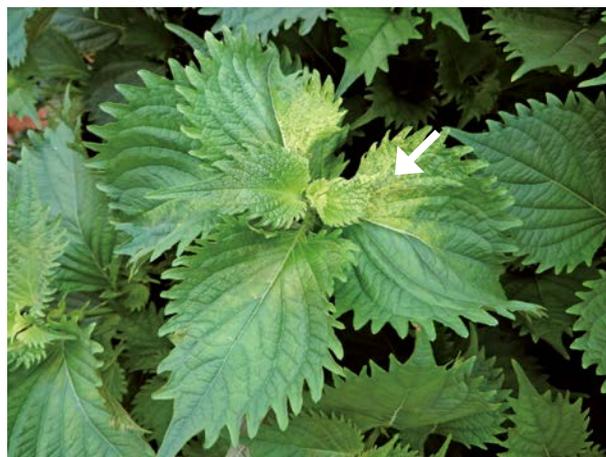


図-1 シソモザイクウイルスによるオオバのモザイク病（上）およびシソサビダニの寄生によるさび症（下）

The Perilla Rust Mite and Mosaic Disease on *Perilla frutescens* L.  
By Fujio KADONO, Akio TATARA, Satoshi KAGIWADA, Ryoji SUZUKI, Yuya CHIAKI and Kenji KUBOTA

（キーワード：シソ、シソサビダニ、シソモザイクウイルス、フシダニ類、エマラウイルス、LAMP法）

\*現所属：国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 果樹茶業研究部門

表-1 シソサビダニの各温度別発育所要日数 (16L8D) (武井ら, 2019)

温度 (°C)	卵		第1若虫		第2若虫		卵~成虫		1世代	
	個体数	平均±SD	個体数	平均±SD	個体数	平均±SD	個体数	平均±SD	個体数	平均±SD
18	114	8.1±0.4	63	4.3±1.0	34	4.5±1.4	34	16.6±1.8	3	27.3±6.5
21	40	6.0±0.9	28	3.2±1.0	24	3.2±1.2	24	12.4±2.0	14	15.4±4.7
24	41	4.5±0.6	35	2.5±0.5	30	2.3±0.7	30	9.4±1.1	12	11.3±2.3
27	75	3.5±0.6	44	2.0±0.4	33	1.8±0.4	33	7.3±0.9	22	8.8±1.8
30	67	3.1±0.3	54	1.8±0.7	29	1.8±0.6	29	6.3±0.7	17	7.8±1.6

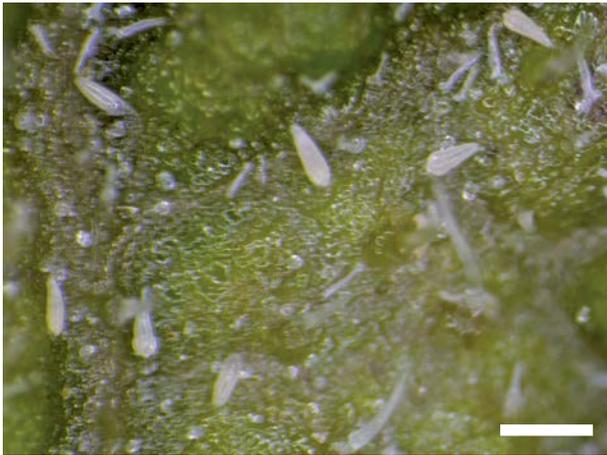


図-2 シソサビダニの成虫、若虫と卵 (スケールバーは0.2 mm)

## I シソサビダニの生態

オオバにさび症を引き起こす(図-1下)シソサビダニは、フシダニ科の *Shevtchenkella* 属に属する体長0.2 mmほどの白いダニである(図-2)。このダニは千葉県的一般家庭菜園のシソで発見され、シソサビダニ(仮称)と命名された(上遠野・岸本, 2013)。本種はシソの葉にモザイク症状を生じるPMoVを媒介するため(久保田ら, 2014)、モザイク病の抑制には、本種の生態を解明したうえで効果的な防除法を確立することが必要である。そこで本種の寄主植物、発育と増殖、分散性、越冬性について調査した。

### 1 寄主植物

寄主植物の特定は越冬場所や増殖源の探索に重要である。本種は当初栽培品種であるオオバの栽培圃場で発生が認められた。そこで、圃場の周囲にあるホトケノザなど10種類のシソ科の雑草における本種の寄生の有無を調査したが、すべての植物で本種の寄生は認められなかった。また、シソ科植物で野外で見られるカキドオシなど5種と、園芸品種であるバジルなど9種の植物に本種の接種試験を行ったが、寄生性は認められなかった。上記の植物はすべてシソ属以外の属に属する。本種は現在のところ、オオバのほかは、赤シソ、エゴマ、レモンエゴマ、トラノオジソ、セトエゴマといったシソ属のみに

表-2 シソサビダニの増殖パラメータ (武井ら, 2019)

温度 (°C)	純増加率	1世代の 平均期間(日)	内的自然増加率
18	0.33	34.79	-0.03
21	5.23	16.54	0.10
24	6.55	12.5	0.15
27	5.66	8.58	0.20
30	8.35	9.89	0.21

内的自然増加率:  $\sum e^{-r_m \cdot x \cdot b \cdot m \cdot x} = 1$  より計算

寄生が確認されている。フシダニ科に属する種は一般的に寄主範囲が狭く、80%の種が単一の植物、95%が単一の属、99%が単一の科の植物を寄主植物とする(VACANTE, 2016)ことから、本種も寄主範囲が狭いと考えられる。

### 2 発育と増殖

シソサビダニを含むフシダニ類の発育と温度の関係については、多くの種で明らかにされている。表-1に18~30°Cにおける本種の発育期間を示す(武井ら, 2019)。温度の上昇に伴って発育期間は短くなり、30°Cにおける一世代の期間は7.8日であった。発育期間の逆数を発育速度とし、これと温度の関係を調べると両者の間には直線関係が見られたことから、回帰式から発育零点を求めると、一世代では12.8°Cとなり、有効積算温度は133.5日度となった。これまでに明らかにされたフシダニ類の卵~成虫の発育零点は5.5~13.7°C(CHANDRAPATYA and BAKER, 1986; LI et al., 1989)であることから、本種の発育零点はフシダニ類の中で高いほうと言える。

次に、発育調査で用いたシソサビダニを用いて、同じ温度条件下で生涯産卵数を調べたところ、最小で21°Cの11.9粒、最大で24°Cの19.8粒であった。ニセナシサビダニで約40粒である(上遠野, 1995)ので、それよりも少ない産卵数であった。日別産卵数と日別生存数から求めた本種の純増加率、一世代の平均期間、内的自然増加率を表-2に示す。温度と内的自然増加率の間には高い正の相関の直線関係が認められたことから、両者の直線回帰式から増殖零点を求めると12.8°Cとなった。このことから、本種は野外では気温が12~13°C以上になるころに増殖してくるものと思われる。

### 3 分散性

オオバ圃場に粘着剤を塗ったトラップを置くと本種が捕獲され、風によって移動していることがわかる。捕獲は4月から始まり、6月から増え始め、夏に少なくなった後9~10月に再び少し増加する(図-3)。捕獲される個体はそのほとんどが雌で、1~2mの高さにトラップを設置すると1mの高さで最も多くの個体が捕獲され、ほぼ、シソの株の高さを移動していると考えられる。また、風速0.5m/秒~2.5m/秒の風に30分間さらすと、0.5m/秒の分散率が約40%と最も高く、強い風は分散に適していないと考えられる(HASEGAWA et al., 2018)。

### 4 越冬性

シソサビダニは卵を産まない生殖休眠態の成虫で越冬に入る。休眠には温度と日長が関与し、臨界条件(50%休眠)は温度16℃、日長12L12Dであった(鈴木ら, 2018)。しかし野外では、それより気温が高く日長である10月上旬ころに50%以上の個体が休眠に入ることから、植物の状態など別の条件も休眠誘起に関与している可能性がある。本種は11月には野外のシソ株の株元に集まる。シソ株がそのまま畑に放置された場合、茎が腐ってくる株があり、それらの株には本種は見られなくなる。茎が腐らない株には2月上旬まで株元に寄生が確認されているが、そのまま春までそこで越冬するかどうかは確認されていない。

## II PMoVの生態

モザイク病の病原ウイルスであるPMoVは、フィモウイルス科エマラウイルス属(*Fimoviridae, Emavavirus*)の近縁種と考えられる。エマラウイルスは複数分節からなる1本鎖(-)RNAをゲノムとし、膜成分をもつ球状の粒子構造をとり、特定のフシダニ種により媒

介される。PMoV以外の国内のエマラウイルスの発生は、イチジクモンサビダニにより媒介されるイチジクモザイクウイルスのみであるが(Ishikawa et al., 2012)、海外では、インドなどでキマメ(*Cajanus cajan* (L.) Millsp.)の不稔を引き起こす*Pigeonpea sterility mosaic virus*や、米国のコムギ、トウモロコシに発生する*High Plains Wheat mosaic virus*等、農業上大きな問題を引き起こす種を含み、また近年新たな種の報告が続いている(MIELKE-EHRET and MÜHLBACH, 2012; 久保田, 2017)。

オオバでのPMoVは、実験的に行った汁液接種による感染効率は低かったことから、葉の収穫など通常の管理作業による伝染は無視できると考えられ、また、種子伝染性も認められていない。一方で、PMoV感染シソ上で増殖するなどしてウイルスを保毒したシソサビダニは強い媒介能力をもち、シソ株に数頭の接種でも高率で感染、発病させる。感染に要する接種吸汁時間は最短で30分である。経卵伝染性は認められない。オオバ圃場で発生するシソサビダニ以外の微小昆虫(アブラムシ類、アザミウマ類、コナジラミ類、カイガラムシ類)では媒介されない。

PMoVの宿主範囲は、シソサビダニと同様に基本的にシソ属(青シソ、赤シソ、エゴマ、トラノオジソ、セトエゴマ、レモンエゴマ)に限られ、ホトケノザやキランソウといった、圃場周辺で見られるシソ科の雑草には感染しないため、獲得源にもならないと考えられる。

## III シソサビダニおよびサビダニ類の検出技術

### 1 LAMP法によるシソサビダニの検出技術

小さすぎて肉眼での観察が困難な葉上のシソサビダニをLAMP法で検出する技術(農研機構 編, 2018b)を紹介する。土や汚れの付着が少ないシソの葉を数枚採取して密閉容器に入れ、50%程度のエタノールを適量加え

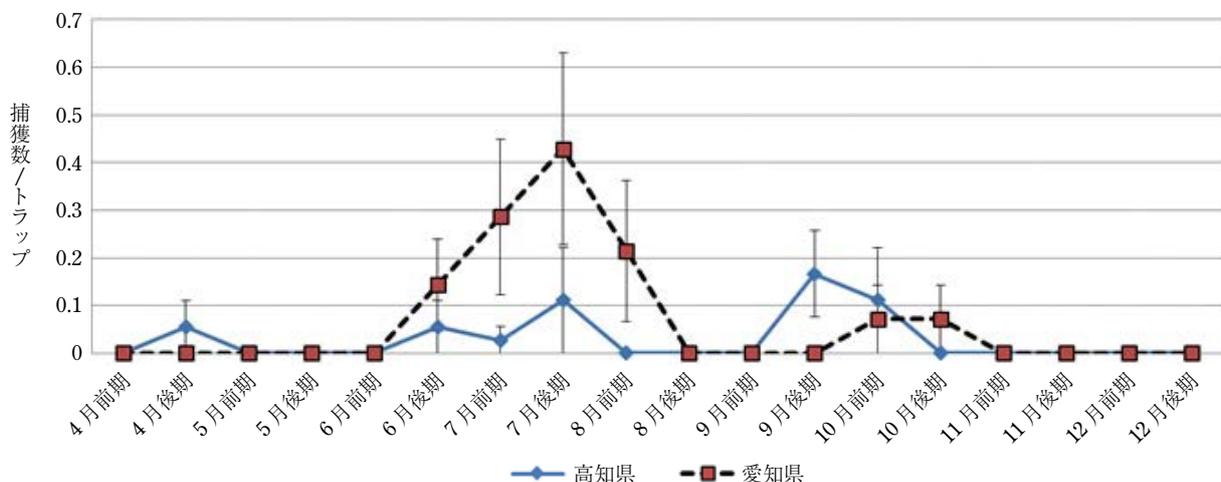


図-3 粘着トラップによるシソサビダニの捕獲消長(露地しそ圃場, 2016)



図-4 シソサビダニを検出する LAMP 法反応後の発色の様子

て激しく振り、シソサビダニを洗い落とす。洗浄液（エタノール）を別のチューブに移し替えて 3,000 rpm で 10 分間遠心し、沈殿物を回収する。エタノールを揮発させた後、沈殿物に 100 mM の Tris-HCl バッファー (pH 8.0) を 100  $\mu$ l 加え、10 分間煮沸する。これを冷却し、うち 5  $\mu$ l を LAMP 反応に用いる。LAMP 反応液は DNA 増幅試薬キット（栄研化学株式会社）とシソサビダニ検出用 LAMP プライマーセット（農研機構 編, 2018 b）を混合して作製する。LAMP 反応液を 63°C で 1 時間保温した後、反応液が白濁していれば陽性、無色透明であれば陰性と判定できる。このとき、保温前の反応液にあらかじめマラカイトグリーンを 0.008% になるように加えると、陽性は水色に、陰性は無色となり、判定が容易になる（図-4）（NZELU et al., 2014）。

また、この応用として、空中に飛散しているシソサビダニを検出することも可能である。方法は以下の通りである。①グリセリンを張った湿式トラップでシソサビダニを捕獲する、②トラップ液を脱脂綿フィルターなどでろ過する、③フィルターに、1 ml の DNA 抽出バッファー [90 mM Tris-HCl (pH8.0), 0.45% Tween-20, 0.45% Triton X-100, 100  $\mu$ g/ml Proteinase K] を加え、55°C で 1 時間保温後に 10 分間煮沸する、④以後は上述と同様に LAMP 反応を行う。DNA 抽出法は農研機構 編 (2008) を参考にした。我々はこの方法で、2 年間にわたってシソサビダニの飛散量調査を行った。リアルタイム濁度計で濁度の計測時間を測定し、それを基にシソサビダニの飛散頭数を算出した。その結果は検鏡観察による発生消長と一致し、初発時期、発生ピーク、終息時期を明確に捉えることができた。

## 2 PCR 法によるサビダニ類の検出技術

サビダニ類は微小で、その同定は困難であり、多くの作

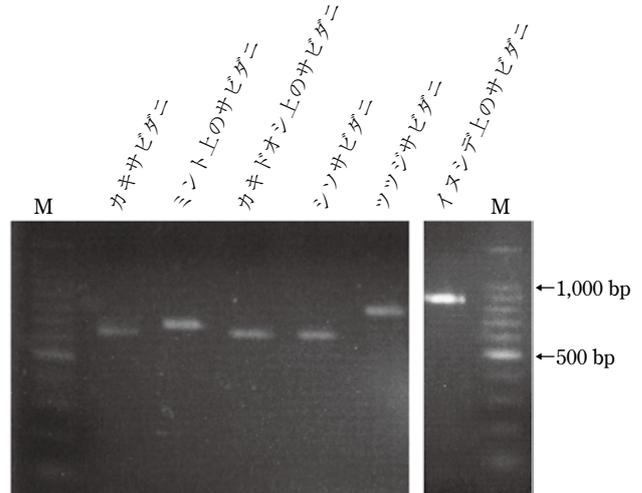


図-5 サビダニ類検出プライマーを用いた PCR の結果  
M は 100 bp ラダーマーカー。

物における発生実態は不明である。そのため、PCR により各種の作物からサビダニ類を検出する技術を開発した。

手順は次の通りである。サビダニ類の虫体のサンプリングは、実体顕微鏡下で豚のまつ毛や虫ピン等を用いて、1.5 ml チューブ（DNA 抽出用の ATL バッファーをあらかじめ入れておく）に直接回収するか、次に示すエタノール回収法により行う。サビダニ類付着葉（5 mm 角）と 70% エタノール（1.0 ml）を 1.5 ml チューブに入れる。30 秒間ボルテクスにより攪拌したのち、チューブ内の葉を除去する。10,000 rpm で 1 分間遠心し、沈殿物に触れないように上清を取り除き、5~10 分程度風乾する。DNeasy Blood & Tissue Kit（キアゲン社）にて、説明書に従い DNA を抽出する。PCR 反応は、Ex Taq（タカラバイオ社）などを用いる。使用するプライマーは Eri18S-F1 (5'-GAT T TG GGA TTG GGG WTT GC-3') および Eri5.8S-R1 (5'-GTG ATC CAC CGT TAA TTG TGA-3') で、反応条件は 96°C 5 分ののち、96°C 40 秒、55°C 40 秒、72°C 1 分を 35 回繰り返す、72°C 7 分とする。2% アガロースゲルにより電気泳動を行って結果を見る。サビダニ類が存在すれば、約 0.5~1 kb のところにバンドが検出される（図-5）。必要に応じて、この増幅 DNA のダイレクトシーケンスと BLAST 検索により、既知のサビダニ種との異同について考察する。

## IV PMoV の検出技術

### 1 RT-LAMP 法

LAMP 法は鋳型の精製度が低くても核酸増幅が可能であり、さらに RT-LAMP 法では逆転写酵素を加えるだけでウイルス RNA も増幅できる（NOTOMI et al., 2000）。PMoV 検出用の RT-LAMP プライマーを設計するにあた

り、全国のウイルス分離株間の塩基配列の多様性が障害となった。そこで通常より2種類多い合計8種類のプライマーを混合したRT-LAMPプライマーセットを使用したところ、国内のPMoV分離株をもれなく検出できた(図-6)。ウイルスのサンプリングとRT-LAMP反応は以下の手順で行った。①注射針を罹病葉のモザイク部位に複数回突き刺す、②汁液の付着した針の先端をRNA増幅試薬キット(栄研化学株式会社)およびRT-LAMPプライマーセット(農研機構編, 2018b)を混合したRT-LAMP反応液に浸す、③63°Cで1時間保温する。④反応液が白濁していれば陽性、無色透明であれば陰性と判定する。このときあらかじめ反応液にマラカイトグリーンを加えた場合は、陽性なら反応液が水色、陰性なら無色となり、判定が容易となる。

我々はこのRT-LAMP法を用いて、発生現場でPMoVの検出を試みた。保温器具の電源は車のシガーソケットから得た。その結果、プロトコルどおりの方法で精製したRNAを用いたPCR法と比較して、92%の精度で結果

が一致した(鈴木ら, 2019)。現場で診断を行う際の注意点として、作業を分担しないこと、手袋を着用すること、屋内などの落ち着いた環境で行うこと、等が重要であると考えられた。

## 2 RT-PCR法

PMoVはRT-PCR法によっても検出できる。検出用プライマーにはPMoV\_RNA1-fw4(5'-GAT GCA TCA AAA TGG TCA GCA A-3')およびPMoV\_RNA1-rv4(5'-GCA CTA TCA TCT GAA TGC ACA AGG-3')の2種類を用いる。RT-LAMP法と同様、本プライマーも全国のウイルス分離株の多様性を考慮した設計がなされている。RT-PCRはワンステップ反応を用い、各社から販売されているキットの説明に従う。PrimeScript One-Step RT-PCR Kit Ver. 2(タカラバイオ社)の場合、逆転写反応と酵素の不活化は50°C, 30分および94°C, 2分で行い、PCR反応は94°C, 30秒; 53°C, 30秒; 72°C, 40秒を35サイクル行う。増幅産物は約400bpであり、アガロースゲル電気泳動での確認(図-7)と、必要に応じシーケン

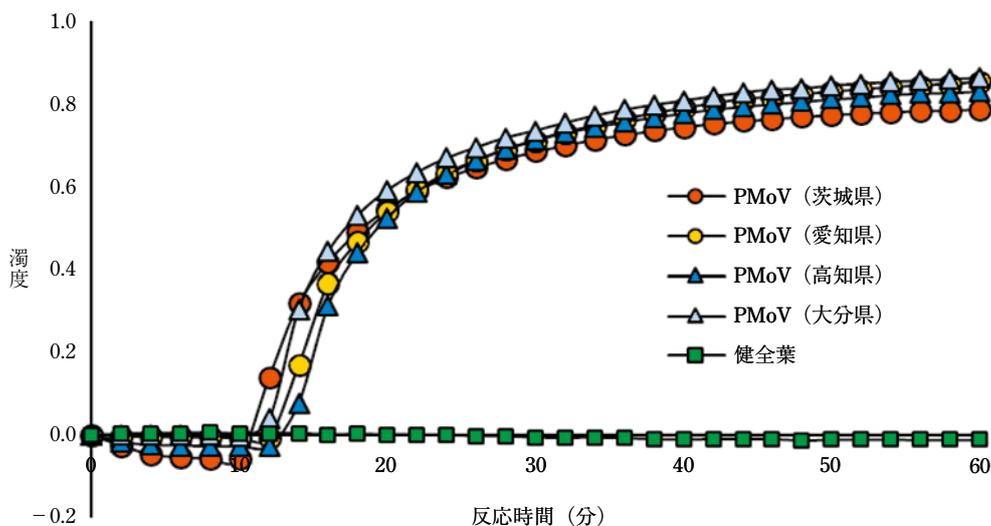


図-6 国内4地域のPMoV分離株のリアルタイム濁度計によるLAMP反応

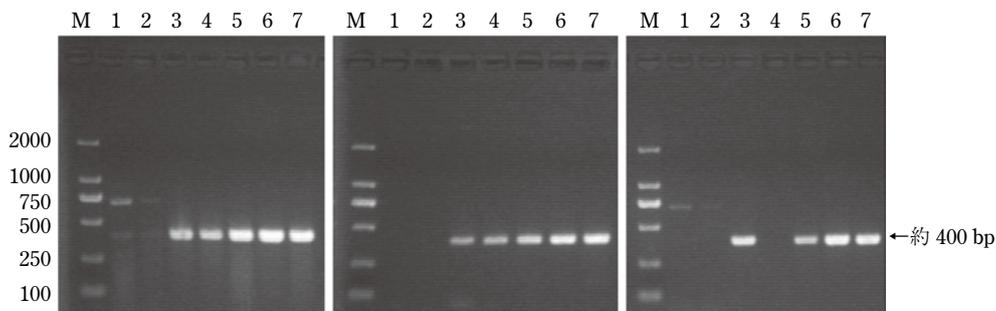


図-7 PMoVのRT-PCR法による検出法でのアガロースゲル電気泳動像

各泳動像のレーンMはラダーマーカー、レーン1,2は健全オオバ葉、レーン3~7はモザイク病罹病オオバ葉(同一番号は同一サンプル)。RT-PCRの鑄型は、(左)TRIzol ReagentによるRNA抽出、(中)チューブキャプチャー法、(右)針刺し法により調製した。



図-8 PMoVのRT-PCR法のための、針刺し法を用いた鋳型調製の様子  
罹病葉のモザイク部を昆虫針の先端でつき、あらかじめPCRチューブに分注したRT-PCR反応液に浸ける。

スを行う。

RT-PCRの鋳型とするRNAは、TRIzol Reagent（サーモフィッシャーサイエンティフィック社）などの市販RNA抽出試薬を用いる方法が最も検出感度が高いが、より簡便な方法として、チューブキャプチャー法（SUEHIRO et al., 2005；石川（末廣）ら，2008），または罹病部位を数回刺した昆虫針を反応液につけて鋳型として用いる針刺し法も利用できる（図-8）。いずれもモザイクを発病している部位を用いることが重要である。詳しい手順は検出マニュアル（農研機構 編，2018 b）を参照いただきたい。

## おわりに

環境保全型農業の推進による化学合成殺虫剤の使用量の低減にともない、これまで意図せずに防除されていたフシダニ類と、それらにより媒介されるエマラウイルスによる被害が顕在化してくることが予想される。フシダニ種の多くは未記載種であり、本稿で紹介したフシダニ類やエマラウイルスの生態および検出法がこれらの早期

発見と被害抑制につながれば幸いである。なお筆者らはRT-PCR法を用いた未知エマラウイルス種の網羅的検出法も開発しており（久保田・千秋，2017），新種ウイルスの発見に活用できる。

本研究の一部は農林水産省農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業 27001C「シソサビダニが引き起こすオオバのモザイク病およびさび症の防除体系確立」により実施された。

## 引用文献

- 1) 愛知県 (2015 a): 平成 26 年度病害虫発生予察特殊報第 4 号.
- 2) ——— (2015 b): 平成 27 年度病害虫発生予察特殊報第 1 号.
- 3) CHANDRAPATYA, A. and G. T. BAKER (1986): *Exp Appl Acarol.* **2**: 201~216.
- 4) HASEGAWA et al. (2018): XV International Congress of Acarology Abstract Book, p.223.
- 5) 茨城県 (2015): 平成 26 年度病害虫発生予察特殊報第 3 号.
- 6) 石川（末廣）典子ら (2008): 植物防疫 **62**: 387~390.
- 7) ISHIKAWA, K. et al. (2012): *J Gen Plant Pathol.* **78**: 136~139.
- 8) 上遠野富士夫 (1995): 千葉県農業試験場特別報告 **30**: 87 pp.
- 9) ———・岸本秀成 (2013): 日本応用動物昆虫学会講演要旨集 **57**: 78.
- 10) 高知県 (2014 a): 平成 26 年度病害虫発生予察特殊報第 1 号.
- 11) ——— (2014 b): 平成 26 年度病害虫発生予察特殊報第 2 号.
- 12) 久保田健嗣 (2017): *ウイルス* **67**: 37~48.
- 13) ———ら (2014): 日本植物病理学会大会講演要旨集 **80**: 301.
- 14) 久保田健嗣・千秋祐也 (2017): 特開 2019-13169.
- 15) LI, L. et al. (1989): *Acta Entomologica Sinica* **32**: 184~191.
- 16) MIELKE-EHRET, N. and MÜHLBACH, H.-P. (2012): *Viruses* **4**: 1515~1536.
- 17) 農研機構 編 (2018 a): オオバのシソサビダニおよびモザイク病防除マニュアル (全国共通版), [http://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/files/boujyosisosabi20180528.pdf](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/boujyosisosabi20180528.pdf)
- 18) ——— (2018 b): オオバのシソサビダニおよびシソモザイクウイルス (PMoV) 検出マニュアル, [http://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/files/kensyutu\\_20180528140000.pdf](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/kensyutu_20180528140000.pdf)
- 19) ——— (2008): タバコナジラミ バイオタイプ判別 研修テキスト, <https://www.naro.affrc.go.jp/training/files/material2008-18.pdf>
- 20) 農林水産省 (2017): 平成 26 年産地域特産野菜生産状況.
- 21) NOTOMI, T. et al. (2000): *Nucleic Acids Res.* **28**: E63.
- 22) NZELU, C. O. et al. (2014): *Acta Tropica.* **132**: 1~6.
- 23) 大分県 (2014): 平成 26 年度病害虫発生予察特殊報第 1 号.
- 24) ——— (2016): 平成 27 年度病害虫発生予察特殊報第 5 号.
- 25) SUEHIRO, N. et al. (2005): *J Virol Methods.* **125**: 67~73.
- 26) 鈴木俊之ら (2018): 関東東山病虫研報 **65**: 125~129.
- 27) 鈴木良地ら (2019): 関西病虫研報 (印刷中)
- 28) 武井 円ら (2019): 日本ダニ学会誌 (印刷中)
- 29) VACANTE, V. (2016): *The Handbook of Mites of Economic Plants*, CAB International, UK, 872 pp.


 研究  
報告

# オオバのシソサビダニとモザイク病対策

—総合防除体系の開発と産地への普及の取り組み—

高知県農業技術センター <sup>しもやかわ ひろし もりた やすあき</sup>  
 下八川 裕司・森田 泰彰  
 愛知県農業総合試験場 <sup>つね かわ けん た</sup>  
 恒 川 健 太

## はじめに

オオバ（青シソ）は施設栽培で周年栽培されており、愛知県、茨城県、大分県、高知県が主な産地となっている。ところが、葉にモザイク症状を生じる被害が1980年代に愛知県で、2000年ころには高知県でも見られるようになった。これらの症状の原因は長らく不明であったため、適切な防除対策を行うことができなかったが、2014年に本症状がこれまで知られていなかった *Emaravirus* 属のシソモザイクウイルス（*Perilla mosaic virus*, 以下 PMoV）によって生じ、シソにさび症を起こすシソサビダニ（*Shevtchenkella* 属）によって媒介されることが明らかとなった（久保田ら, 2014）。

そこで、2015～17年度に農研機構、高知県、愛知県、大分県、法政大学により実施された農林水産省農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業において、PMoVとシソサビダニの生態の解明とこれらの検出技術の確立、各種防除技術を組合せた総合防除体系の確立に取り組んだ。

前編では、PMoVとシソサビダニの生態と診断技術を紹介したので、後編では、開発された防除体系と現地での普及の取り組みについて紹介する。

報告に先立ち、愛知県における各種調査は、東三河農業改良普及課の宮田将和氏（現：愛知県立農業大学校）、豊橋温室園芸農業協同組合の鈴木敦利氏に協力および助言をいただいた。ここに記して厚く御礼申し上げる。

## I 総合防除体系の開発

シソサビダニとモザイク病を効率的に防除するには、各種の防除技術を組合せた総合的な防除体系を開発する必要がある。そのため、これらの生態的特性を調査したところ、モザイク病は圃場外の伝染源からシソサビダニ

が侵入しPMoVを媒介することで発病すること、圃場内でいったん発生するとシソサビダニによって周囲の株に伝染して拡大するため、シソサビダニの侵入を防ぐことが重要であることが明らかとなった。また、シソサビダニは新しく発見された害虫であるため、シソサビダニに適用登録された農薬はなかった。そこで、シソサビダニに対する有効薬剤を探索するとともに、農薬の登録促進を図った結果、新たに5剤が「しそ」のシソサビダニに対して適用登録され、利用できるようになった（表-1）。そして、これらの成果を組合せて実証試験を行い、モザイク病の発生リスクの高い7～11月に栽培する作型での防除体系を組み立てた（図-1）。

### 1 物理的・耕種的防除

シソサビダニおよびPMoVの寄主範囲は、シソ科シソ属の植物に限られるので、伝染源になると考えられる圃場周辺のシソをできるだけ除去する。このとき、雑草化している野生生えシソはもちろん、家庭菜園などで栽培されているシソも可能な範囲で除去する。また、オオバの育苗を収穫圃場で行うと、栽培中の株からシソサビダニやモザイク病が伝染する可能性がある。そのため、育苗は収穫圃場と別の場所で行い、少しでも感染が疑われる苗は定植しないようにする。

PMoVを媒介するシソサビダニは、風に乗って圃場内に侵入するため、施設の開口部への防虫ネットの展張は有効であると考えられる。そこで、以下の実験を行い、シソサビダニの侵入防止効果を検証した。まず、針金製の直方体枠内に、スライドガラスの片面にシリコングリースコンパウンド（東レ・ダウコーニング(株)製）を塗布した粘着トラップを設置し、この枠を目合いの異なるネット（0.6 mm, 1 mm, 4 mm）の中に入れた。次に、シソサビダニが寄生したオオバ側枝をこの枠から50 cm離してひとつずつ設置した。その後、オオバの後方から枠に向けて扇風機で60分間送風し、粘着トラップに付着したシソサビダニを計数した。その結果、4 mm目合いの防風ネットは0.6 mm目合いの防虫ネットと比較すると侵入防止効果は劣るが、ネットなしと比較するとあ

Control for the Perilla Rust Mite and Mosaic Disease on *Perilla frutescens* L. By Hiroshi SHIMOYAKAWA, Yasuaki MORITA and Kenta TSUNEKAWA

（キーワード：シソ、シソサビダニ、シソモザイクウイルス、総合防除体系、産地への普及）

表-1 オオバ（「しそ」）で使用できるシソサビダニに効果のある薬剤（平成30年11月30日現在）

農薬名	希釈倍数	使用時期	使用回数	シソサビダニに対する登録（登録年月日）
（化学農薬）				
ミルベメクチン乳剤	2,000倍	前日	2回	○ <sup>a)</sup>
レピメクチン乳剤	2,000倍	前日	3回	○（2016年11月2日）
エマメクチン安息香酸塩乳剤	2,000倍	7日前	2回	○（2016年6月22日）
キノキサリン系水和剤	3,000倍	10日前	3回	○（2018年10月24日）
ルフェヌロン乳剤	2,000倍	14日前	2回	○（2016年6月22日）
ピリダベン水和剤	2,000倍	21日前	1回	○（2017年7月26日）

注<sup>a)</sup> サビダニ類として2014年以前から登録あり。

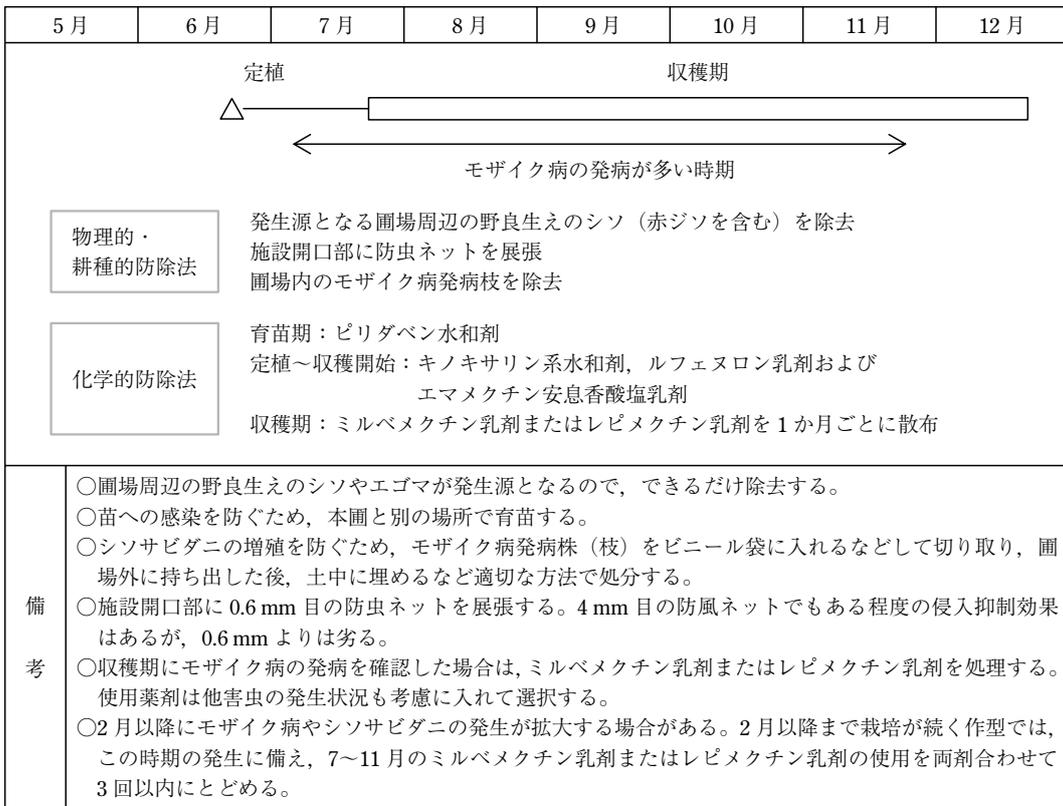


図-1 施設オオバにおけるシソサビダニおよびシソモザイク病の防除体系

表-2 ネットの目合いによるシソサビダニの侵入抑制効果

ネットの目合い	シソサビダニ侵入数（頭） <sup>a)</sup>					侵入割合（%） <sup>c)</sup>				
	反復 <sup>b)</sup>				平均	反復 <sup>b)</sup>				平均
	I	II	III	IV		1	2	3	4	
0.6 mm	20	28	93	131	68.0	12.9	27.7	68.4	45.0	38.5
1 mm	38	25	148	268	119.8	24.5	24.8	108.8	92.1	62.6
4 mm	44	97	77	136	88.5	28.4	96.0	56.6	46.7	56.9
なし（対照）	155	101	136	291	170.8	100	100	100	100	100

注<sup>a)</sup> 粘着トラップ3枚当たりに付着したサビダニ数。  
<sup>b)</sup> 接種源として用いたオオバ側枝ごとに反復とした。  
<sup>c)</sup> 対照の虫数を100としたときの各目合いの虫数。

程度の効果が認められた。ただし、目合いが細かいほど効果が高いので、可能な範囲で目合いの細かい防虫ネットを展張する（表-2）。

なお、圃場内で発病が見られた株は、シソサビダニが寄生している場合があり、周囲の株への伝染源になる可能性がある。発病株は、速やかにビニール袋に入れるなどしてから切り取り、圃場外に持ち出して適切に処分する。

## 2 化学的・生物的防除（農薬による防除）

オオバは一斉に収穫するのではなく、圃場内で収穫する場所を変えながらほぼ毎日収穫するため、収穫前日数の制限が長い薬剤は収穫期間中は実質的に使用できない。そのため、育苗から収穫開始までの期間と収穫期間中とで使用する薬剤を分ける必要がある。

### （1）育苗から収穫開始までの防除

使用時期が収穫7日前以上の薬剤を使用する。栽培初期に感染すると被害が大きいので、発病リスクの高い7～11月に育苗、定植する作型では、収穫開始日を考慮しながら、育苗期にピリダベン水和剤を散布し、定植後、ルフエヌロン乳剤、キノキサリン系水和剤、エマメクテン安息香酸塩乳剤をおおむね1週間ごとに処理する。

### （2）収穫期の防除

収穫前日まで使用できるミルベメクテン乳剤またはレピメクテン乳剤を使用する。特に発病リスクの高い7～11月は散布間隔を1か月以上あけないよう、定期的に防除すると効果的である。このため、(1)で最後に薬剤を処理した約1か月後に、上記薬剤のいずれかを処理する。ただし、1か月经たないうちにモザイク病の初発を確認した場合は、両剤のいずれかを直ちに処理する。また、11月以降、施設側面の開口部を閉め切った後は野外からの侵入リスクがほとんどなくなるので、閉め切り直後に両剤のいずれかを処理し、圃場内のシソサビダニの根絶を図る。

なお、2月以降にシソサビダニやモザイク病の発生が拡大することがある。ミルベメクテン乳剤とレピメクテン乳剤の使用回数は合わせて5回までであるので、2月以降まで栽培が続く作型では、この時期の発生に備え、7～11月の使用は両剤合わせて3回以内にとどめ、施設開口部の締め切り直後と2月以降に1回ずつ使用できるようにする。

## II 産地への普及の取り組み

### 1 愛知県におけるオオバ生産

愛知県におけるオオバ生産は主に施設栽培で行われており、出荷量3,359tで全国シェア55%（2014年産実績）、年間産出額131億円（2016年産実績）で日本一の産地

となっている。全国的にオオバは、年間出荷量が3万トン以下のマイナー作物に位置づけられているが、愛知県の野菜生産ではキャベツ、トマトに次ぐ生産額を誇り、重要な品目の一つである。

### 2 愛知県のモザイク病の発生実態

愛知県のオオバ産地では、1980年代からモザイク症状が発生しており、収穫物である葉に被害が及ぶことから収量減に直結するため、長らく問題になっていた。しかし、当時、このモザイク症状の原因がわからなかったことから、適切な対策を実施することができなかった。2014年に本症状がPMoVによる病害（シソモザイク病）であることが確認され、さらにシソサビダニによって媒介されることが明らかとなった。愛知県でも、オオバやエゴマにおいてPMoVおよびシソサビダニの発生が確認されたため、それぞれ2015年3月および12月に病害虫発生予察特殊報として発表し、県内に周知した（愛知県、2015a；2015b）。

まず、愛知県におけるモザイク病の発生実態を明らかにするため、2016年4月に主要産地のオオバ生産者に対し、発生程度や栽培状況等に関するアンケート調査を実施した（有効回答者数：84名）。その結果、約9割の生産者がモザイク症状の発生を経験しており、産地で広く発生している実態が明らかになった。また、約3割の生産者が、圃場の1割以上でモザイク病の発生を経験しており、モザイク病が愛知県のオオバ生産において大きな被害を与えていることがわかった。

### 3 防除技術の普及への取り組み

I章で開発した技術を中心とした防除対策を愛知県の現地圃場において実施したところ、対策実施前の作と比較し、モザイク病の発生株率が約10分の1となり、防除技術としての有効性を確認することができた。

これら本事業の成果について、2018年1月24日に約100名の愛知県内オオバ生産者および関係機関の指導者が参集した研修会で紹介し周知を行った。

さらに、2018年5月28日には、農研機構のホームページ内において、「オオバのシソサビダニおよびシソモザイク病防除マニュアル（全国共通版）」を公表した（農研機構 編、2018）。本マニュアルは、媒介虫であるシソサビダニの形態や発育速度、モザイク病の発生の特徴やウイルスの宿主範囲、シソサビダニによる媒介効率などの生態学的特徴から、防除体系の技術的な解説、捕食性天敵を活用した防除の可能性、モザイク病および類似症状を示す障害についての写真集までを網羅したものとなっている。

その他、愛知県病害虫防除所のホームページ（あいち

### シソサビダニを防除してシソモザイク病を抑えよう！

3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月 1月 2月

シソサビダニ侵入警戒時期  
シソモザイク病発生警戒時期

**施設内**

- 健全苗の使用！  
育苗期から防除を実施して施設に持ち込まない！
- 施設内の感染株は除去！  
ほ場内で発生した感染株は抜き取りその場でビニル袋に入れ密閉処分。

**out!**

- 防虫ネットで入れない！  
目合い0.6mm以下の防虫ネットで施設内に入れられない！
- 感染株を確認したら、すぐ防除！  
(収穫期の場合)  
・アニキ乳剤（収穫前日）  
・コロマイド乳剤（収穫前日）で防除。  
・それ以降も通常防除に加え、これら農薬の散布間隔が1ヶ月を超えないように散布。

**野外**

- 野外の感染株に注意！  
・施設周辺にシソモザイク病に感染したシソがないか確認。  
・見つかった際、所有者の許可を得て除去または防除。

※実際のシソサビダニは肉眼では見えない

### シソサビダニ

・体長約0.15～0.2mm。微小なため、肉眼では観察できません。  
・シソモザイクウイルスを媒介します。  
・風に飛んで移動します。  
・多数寄生すると、「さび症」を発生させます。  
・シソ類（青シソ、赤シソ、エゴマ）のみに寄生します。

シソサビダニ 0.15mm 卵子群像等身(拡大50倍)

### シソモザイク病

・シソモザイクウイルス (Perilla mosaic virus, #MoV) による病害。  
・シソサビダニは病害の伝染方法と確認されておらず。  
・土壌伝染や種子伝染、異種作物での汁液伝染はありません。  
・夏から秋にかけて多く、サイドや出入り口などの開口部に多く発生します。

シソのさび症 エゴマのさび症

商品名	成分	剤形/容量	使用回数
コロマイド乳剤	ミルベメクタン	2000倍 瓶 200ml	2回以内
アニキ乳剤	シビメクタン	2000倍 瓶 200ml	3回以内
アフーム乳剤	エマメクタン塩化亜鉛塩	2000倍 7日前 200ml	2回以内
マツダ乳剤	ルフェエロン	2000倍 14日前 200ml	2回以内
サンマイルフロアブル	ピリダヘン	2000倍 21日前 100ml	1回

薬剤の散布に当たっては、ラベルの表示事項を守るとともに、他の作物や周辺環境への飛散防止に努める。

連絡先  
愛知県農業総合試験場 環境基盤研究部  
病害虫防除室  
〒480-1193  
愛知県長久手市岩作三ヶ巻1-1  
電話 0561-62-0085(内線 471)  
FAX 0561-63-7820  
Eメール byogaichu@pref.aichi.jp  
HP http://www.pref.aichi.jp/byogaichu/

図-2 愛知県作成の防除対策チラシ

病害虫情報)には、圃場でのシソサビダニの発生消長(堀川ら, 2018)も含めた「愛知県版シソサビダニ・シソモザイク病防除マニュアル」を掲載した(愛知県, 2018)。モザイク病の防除では、圃場内外の感染源の除去が重要なポイントとなるが、それには圃場周辺の家庭菜園でシソを栽培している一般住民も含めたモザイク病に対する理解や防除への意識が必要になる。そのため、簡単に概要がわかるように、表面には防除対策、裏面にはモザイク病およびシソサビダニの特徴や登録農薬を記載したチラシを作成し、現場指導で活用されている(図-2)。本チラシは、同ホームページ内でもダウンロードできる。

### おわりに

オオバは、和食の彩りに欠かせない食材として注目さ

れ、全国各地で地域特産作物として栽培されている。今回開発した防除技術が活用されることで、シソサビダニおよびモザイク病の被害を低く抑えることが可能となる。本マニュアルがオオバの安定生産の一助になれば幸いです。

### 引用文献

- 1) 愛知県 (2015 a): 平成 26 年度病害虫発生予察特殊報第 4 号。
- 2) —— (2015 b): 平成 27 年度病害虫発生予察特殊報第 1 号。
- 3) —— (2018): 愛知県版シソサビダニ・シソモザイク病防除マニュアル, <http://www.pref.aichi.jp/byogaichu/2018/shiryou/sisomanyuaru.pdf>
- 4) 堀川英則ら (2018): 関西病虫研報 60 : 23～29.
- 5) 久保田健嗣ら (2014): 日植病報 80(4) : 301.
- 6) 農研機構 編 (2018): オオバのシソサビダニおよびモザイク病防除マニュアル (全国共通版), [http://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/files/boujyosisisabi2018\\_0528.pdf](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/boujyosisisabi2018_0528.pdf)

# 研究 報告

## 茨城県におけるミズナ立枯れ症の発生実態と防除対策

茨城県農業総合センター園芸研究所 はやし 林 かなこ 可奈子・みやもと 宮本 たくや 拓也・たなか 田中 こうき 弘毅

### はじめに

茨城県のミズナ栽培は1998年ころから本格的に始まり、その後急速に出荷量が増加し、2012年度では、作付面積827ha、出荷量14,400t（茨城県，2014）と全国1位であり、シェアも全国の4割以上を占める。産地は、県東部に位置する鹿行地域が中心であり、特に行方市ではビニルハウスを用いて周年出荷され、農家によっては年間で7、8作栽培されている。主に春～初秋は直播で、晩秋～冬はセルトレイで育成した苗の移植栽培が行われている。

近年、その周年栽培を行うミズナにおいて立枯れ症状が多発生し、被害が拡大している。本稿では、立枯れ症状を示す株から分離され、新病害として認められた萎凋病について、現地圃場における発生実態、並びにその対策として検討している防除対策について述べる。

### I 萎凋病の発生

2009および2011年に県内の二つの異なる産地のミズナ栽培圃場において立枯れ症状を示す株が発生した（図-1）。被害株は外葉から萎凋し、株全体が枯死に至り、地際部および根部を切断したところ、維管束が褐～黒褐色となり、病徴が激しい株は根全体が黒変していた。症状部位から菌を分離した結果、*Fusarium oxysporum* が高率で分離された。本菌をミズナへ接種したところ病原性が確認され、金田ら（2012）は本病をミズナ萎凋病とした。このうち一方の産地から得られたN1109-1菌株については、キャベツなどのアブラナ科野菜に対する病原性の調査から*F. oxysporum* f. sp. *conglutinans* と同定された（表-1）。もう一方の産地からの09060-2菌株については、キャベツやダイコンへの病原性が低いことから*F. oxysporum* f. sp. *rapae* と考えられたが、一部のアブラ



図-1 現地圃場におけるミズナ立枯れ症の発生株の様子

ナ科植物への接種試験が不十分であり、同定にはさらに詳細な検討が必要である。

### II 現地圃場における立枯れ症の発生推移

2016と2017年にミズナの周年栽培を行う行方市の現地ハウスにおいて、立枯れ症の発生実態を調査した。その結果として、農家Aにおいて調査対象とした5ハウスにおける本症状の発生推移の平均値を図-2に示す。調査はおおむね一か月ごとに行い、ハウス内の畝を目視で一定の面積で区切り、その中で立枯れ症の発生の有無を観察し、発生区画率を求める方法で行った。農家Aにおける発生は2016年6月の調査開始時に認められ、その後7～9月までは発生区画率が50%前後であった。その後10月ころから減少し、11月～2017年3月の調査では発生は認められなかった。しかし、4月から徐々に発生が再び見られだし、8～9月にかけて増加した。同様の調査を実施した他の農家ハウスでも、同様な推移が認められた。

本調査において症状が認められた株はその都度採集し、常法により菌の分離を行い、分離した菌株は接種試験により病原性の検討を行った。その結果、病原性を認めた菌種の大部分は萎凋病菌（*F. oxysporum*）とリゾクトニア病菌（*Rhizoctonia solani*）であり、ごく一部に立

Current Status of and Control of Damping-off on Mizuna (*Brassica rapa* L. Japonica Group) in Ibaraki Prefecture. By Kanako HAYASHI, Takuya MIYAMOTO and Koki TANAKA

（キーワード：ミズナ，立枯れ症，萎凋病，リゾクトニア病，防除法）

表-1 ミズナ分離菌株と *Fusarium oxysporum* の分化型の各種アブラナ科作物に対する病原性

菌株名 <sup>1)</sup>	作物・品種別の発病度									
	ミズナ	カブ	タアサイ	チンゲンサイ	コマツナ	キャベツ		ダイコン	ハクサイ	ストック
	早生千筋 京水菜	金町 小燕	緑採2号	青美	楽天	金系 201号	グリーン ボール	耐病 総太り	白栄	ファンタジー カルテット
09060-2 (ミズナ分離株)	57	89	42	58	32	0	1	0	4	0
N1109-1 (ミズナ分離株)	81	72	79	43	33	38	68	0	3	0
Ta-3 (f. sp. <i>rapae</i> , タアサイ分離株)	14	26	17	25	12	7	11	0	6	0
con100123 (f. sp. <i>conglutinans</i> , キャベツ分離株)	33	68	21	22	26	100	100	1	7	0
rap100013 (f. sp. <i>raphani</i> , ダイコン分離株)	6	33	7	44	6	0	0	60	7	0

<sup>1)</sup> *Fusarium oxysporum* の3分化型の菌株はみかど協和株式会社の塩谷氏より分譲を受けた。

※葉～1葉期の苗に孢子懸濁液 (10<sup>6</sup> 個/ml) を 5 ml 灌注し, 25℃の人工気象器で一か月管理し, 各株の発病状況を程度別に調査し, 発病度を算出した。各品種7株の2連制。

※※発病度 = Σ (指数別発病株数 × 指数) × 100 / (調査株数 × 3)。

発病指数…0: 病徴なし, 1: 生育がやや抑制, 下葉2枚程度が黄化・枯死, 2: 数枚が萎凋, やや黄化, 3: 黄化・落葉して芯のみ, 枯死。

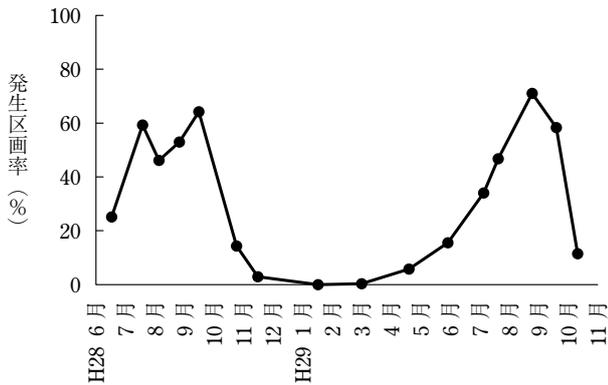


図-2 農家 A におけるミズナ立枯れ症の発生区画率の推移  
現地圃場の5ハウスの平均値を示す。



図-3 萎凋病菌 (上) とリゾクトニア病菌 (下) が分離された  
ミズナ立枯れ症状株

枯病菌 (*Pythium* sp.) が認められた。したがって, 萎凋病菌およびリゾクトニア病菌がミズナで多発生する立枯れ症の主要病原菌であると考えられた。なお, これら病原菌が分離されたミズナ株の症状は酷似しており, 目視のみで区別することは困難であった (図-3)。また, 分離した萎凋病菌について, キャベツへの病原性を元に分化型を検討した結果, 行方市では *F. oxysporum* f. sp. *conglutinans* と *F. oxysporum* f. sp. *rapae* の両方が発生している可能性が考えられた (田中ら, 2018)。

リゾクトニア病については, 本稿では立枯れ症状の発生を述べるが, 現地のハウスでは少ないながらも尻腐れ症状や葉腐れ症状 (三澤・泉, 2012) も認められている。

筆者らの調査では、立枯れ症状は夏期、尻腐れおよび葉腐れ症状は通年で発生していた。一方、本県で夏期に分離した菌株と冬期に分離した菌株を用いた接種試験では、温度別の発病程度が異なった（田中ら、未発表）。リゾクトニア病菌の菌糸融合群（Anastomosis group：AG）や培養型による分類については、栄森・竹内（2004）と三澤・泉（2012）はAG-2-1、瓦谷ら（2007）はAG-1 ICの発生を報告している。今後、本県で得られた菌株の差異についてこれら分類型も含めて検討していく必要がある。

### III 萎凋病菌汚染圃場における立枯れ症の発生推移

茨城県農業総合センター園芸研究所内のビニルハウスで試験的に発生状況を調査した。2015年9月3日にフスマ培地で培養した萎凋病菌 *F. oxysporum* f. sp. *conglutinans* N1109-1 株をハウス土壤に混和した。その後、2015年9月～2018年8月（2015年2回、2016年6回、2017年7回、2018年3回）に播種から収穫までをくり返し、その都度、本葉3、4葉期の発病状況を調査し、発病株率を算出した。なお、追加で2016年2月、および6月に病原菌の接種を行うために、フスマ培地での培養物を土壤に混和した。

約3年間の発生の推移を図-4に示す。病原菌を混和した直後の2015年9月から2016年6月の作までは発生が見られなかったが、8月2日の調査で初めて発病が認められ、その株率は29%となり、9月9日には43%と多発生となった。その後の発生は秋～春にかけていったん終息したが、翌年7月以降の夏に再び増加した。その後は前年と同様に秋から春にかけて終息し、2018年夏に増加するという経過を辿った。

以上のことから、現地から分離された萎凋病菌の汚染圃場における発病株率は現地で発生する立枯れ症の推移

とほぼ同様の傾向を示した。もう一方の主要病害であるリゾクトニア病について今回は検討を行っていないが、現地圃場の立枯れ症の推移や症状株からの菌の分離頻度を考慮すると萎凋病と同様の推移をたどると考えられた。

## IV 防 除 対 策

前章で示した通り、本症状は夏期に多発しているが、生産者からは高単価が期待できる夏期に作を切らさずに実施できる防除法の開発が求められている。2019年2月1日現在、リゾクトニア病に対する登録薬剤はあるものの、萎凋病に対するものはない。そのため、萎凋病菌に対する防除方法としては耕種的防除や物理的防除が必要であると考えられた。そこで筆者らは、品種比較と、耕種的防除として移植栽培、物理的防除として太陽熱を利用した土壤消毒による効果を検討した。なお、特記しない限り、試験を実施したハウスには *F. oxysporum* f. sp. *conglutinans* N1109-1 株を土壤混和した。また、発病調査はミズナの本葉3、4葉期（播種後約2週間）に実施し、発病株率を算出した。

### 1 品種比較と耕種的防除

一般的な耕種的防除として、病害に強い品種の選択がある。そこで、発病の品種間差異を明らかにするために、2016年8月に汚染程度の異なる所内ハウス3棟において、現地での夏期の慣行品種‘京すだれ’など6品種を播種し、発病状況を調査した。

汚染程度の高いハウスにおける発病株率の結果を表-2に示す。慣行品種‘京すだれ’の発病株率が27.3%の条件で、他5品種は16.2～27.2%となり、‘京すだれ’より顕著に低い発病株率を示す品種は見られなかった。他のハウス2棟、また、上記6品種を含む16品種について25℃の人工気象室で実施したポット試験においても、本病に顕著な耐病性を示す品種は見いだせなかった（データ略）。したがって、品種選択による対策は困難と考え

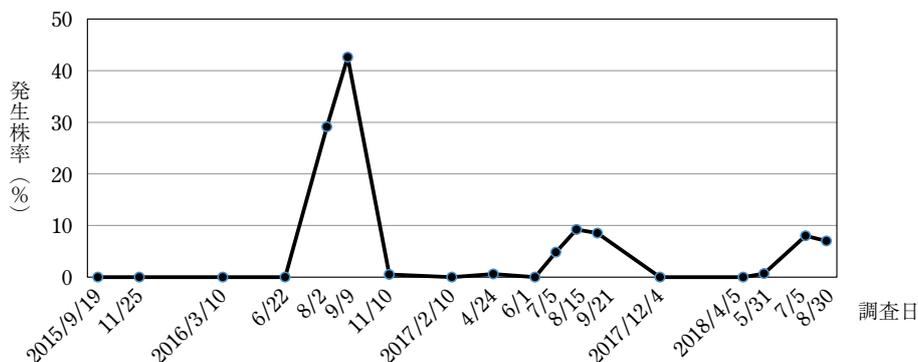


図-4 茨城県園芸研究所内のビニルハウスに作成した萎凋病菌 (*Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans*) 汚染圃場におけるミズナ萎凋病の発生推移

表-2 ミズナ萎凋病に対する各品種の発病差異 (2016年実施)

品種	発病株率 (%)
京すだれ (夏期慣行)	27.3
京のれん	16.2
夏白泉	24.1
水葉月	18.5
早生千筋京水菜	27.2
紅法師	19.4

※試験を実施したハウス3棟のうち、汚染程度の高いハウスの結果を示した。

られた。

本病は本葉2~3枚の時点で発生するが、発病しなかった株は収穫に至ることが多い。そのため、萎凋病菌に対する感受性は、特に幼苗で高いと考えられた。そこで、幼苗への感染防止を目的として、盛夏期の移植栽培による防除効果を検討した。所内汚染ハウスにおいて、2017年8月に畝を白黒マルチで被覆し、直播、あるいは7日、14日間育苗した苗の移植を実施した。播種、または移植の2週間後に調査した結果、直播区では発病株率10.8%であったのに対し、7日育苗区で4.4%、14日育苗区で0%となった(データ略)。直播区と比較し移植区で発生は少なく、また育苗日数が長いほど効果が高かったことから、移植栽培は本病に対する有効な防除法であることが示唆された。冬期では一般的なマルチを利用した移植栽培は、それ以外の時期にはあまり実施されていないが、今回の結果を基に防除法の一つとして生産者へ提示していきたい。

## 2 太陽熱を利用した物理的防除

ミズナと同様に年に数回作付けを行うハウレンソウなどの土壌病害対策として、太陽熱を利用した土壌消毒を実施して効果を確認している事例がいくつかある(赤

司・前田, 1989; 佐山・福田, 1997; 上田ら, 2002)。そこで、ミズナ周年栽培ハウスの密閉期間を約1か月間とする土壌還元消毒、および約10日間とする短期太陽熱土壌消毒を実施し、これらの処理による防除効果を検討した。

### (1) 土壌還元消毒

夏期に作を切らさないために、梅雨時期の土壌還元消毒による防除効果の検討を行った。本消毒でのハウスの密閉期間は約1か月であるが、これはミズナ栽培での約1作分にあたる。1作分の休作により収益が大きく低下するため、本消毒による防除効果は長期間持続することが求められる。そこで、本試験では発病が終息する秋冬期まで継続して土壌中の菌密度の推移を調査することで、本消毒の翌年までの持続性を検討した。

所内汚染ハウスにおいて、2016年6月上旬から約1か月間消毒を実施した。なお、土壌の深さ15cmでは処理開始3日目以降、30cmでは10日目以降から、おおむね30℃以上を維持した。消毒後にミズナを連作した際の発病状況および菌密度を表-3に示す。発病株率については、1作目は対照区29.1%、消毒区8.4%で、2作目はそれぞれ42.6%、21.8%となり、本消毒による効果が認められた。消毒区での土壌の深さ0~15cmの*F. oxysporum*の密度は、消毒前は $10^3$  cfu/g 乾土と高密度であったが、直後および8月下旬には $10^1$  cfu/g 乾土と減少した。秋冬期に発病は終息したが、消毒区の菌密度は回復傾向で、10および12月には $10^2$  cfu/g 乾土と、対照区と同程度検出された。3作目以降の秋冬期に終息していた発病は、翌年の春期には対照区で0.6%、消毒区で1.1%と、同程度認められた。

夏期に作を切らすことにはなるが、より高い防除効果が得られると考えられた盛夏期(7月下旬から)に、同

表-3 2016年梅雨時期に実施した土壌還元消毒前後のミズナ萎凋病の発病株率と土壌中(0~15cm)における*Fusarium oxysporum*の密度の推移

試験区	2016年					2017年		
	6月上旬 (消毒前)	7月下旬 (1作目)	8月下旬 (2作目)	10月中旬	12月下旬	2月上旬	4月下旬	
発病株率 (%) (防除値) <sup>1)</sup>	消毒	- <sup>2)</sup>	8.4* (71)	21.8* (49)	0 (100)	-	0 (-)	1.1 (0)
	対照	-	29.1	42.6	0.5	-	0	0.6
菌密度 <sup>3)</sup> (cfu/g 乾土)	消毒	$1.4 \times 10^3$	$1.5 \times 10^1$	$5.6 \times 10^1$	$1.0 \times 10^2$	$2.6 \times 10^2$	-	-
	対照	$1.1 \times 10^2$	$3.0 \times 10^2$	$3.5 \times 10^2$	$4.4 \times 10^2$	$7.9 \times 10^2$	-	-

1) 防除値 =  $100 - (\text{消毒区の発病株率} / \text{対照区の発病株率}) \times 100$ 。

2) -: 未実施。

3) 選択培地としてFo-G1培地を用いて、平板希釈法により菌量を計数した。

\*は対照区との差がカイ二乗検定で有意 ( $P < 0.001$ ) であることを示す。

様の消毒を実施した。その結果、消毒後1作目（前述した梅雨時期の消毒後2作目）での発病株率は3.1%となり、高い防除効果が得られた。しかしながら、梅雨時期の消毒と同様に、秋冬期に消毒区の菌密度は回復傾向であった（データ略）。

以上の試験から、消毒の時期によらず、ハウスの密閉期間を1か月設けて土壌還元消毒を実施しても、栽培の継続により菌密度は徐々に増加するため、翌年以降、防除効果が持続しない可能性が示された。したがって、経営面も考慮すると、本消毒法による防除は難しいと考えられた。

## （2）短期太陽熱土壌消毒

翌年以降にも効果が持続する土壌還元消毒法の確立は難しいと考えられたことから、消毒を実施する年の多発生時期のみを乗り切れ、状況に応じて毎年でも実施可能な、簡易な手法を確立することとした。

赤司・前田（1989）は、夏期に約2週間の短期太陽熱土壌消毒を実施することで、ハウレンソウ萎凋病の発生が著しく低下したと報告している。一方、ミズナでの同様の処理は、雑草の低減効果を目的として実施した事例がある（川上ら、2012）が、土壌病害の防除を対象に実施した事例はない。ミズナ栽培では、作と作の切り替え時に10日程度の無作付期間が発生するため、この短期間の処理は実施しやすい方法と考えられた。そこで、盛夏期に約10日間の土壌消毒を実施し、本病に対する防除効果を検討した。

所内汚染ハウスで、2017および2018年の7月中下旬から消毒を実施した。2017年は、実施した12日間のうち、最終日以外は曇天が続く気象条件であった。消毒期間中、土壌の深さ15cmにおける地温は35℃前後で推移し、40℃以上の積算地温は7時間であった（計測時間数：288時間）。一方、2018年は、実施した11日間は晴天が続き、40℃以上の地温は161時間と、2017年よりも高温状態を長時間維持した（同242時間）。

2か年の消毒後1, 2作目における発病株率の結果を表-4に示す。2017年の1作目は、対照区9.1%、消毒区0.6%で、2作目はそれぞれ8.1%、0%となった。2018年の1作目は、対照区17.2%、消毒区2.6%で、2作目はそれぞれ38.9%、4.5%となり、いずれの年でも本消毒による効果が認められた。また、両年とも、消毒後の菌密度（土壌の深さ0~15cm）は消毒前と比較して減少し、特に2018年は処理6日目には検出限界以下となったが、秋冬期には回復傾向であった（データ略）。

前述した赤司・前田（1989）による、試験管を用いたモデル実験の結果、ハウレンソウ萎凋病を含む病原糸状

表-4 2017および2018年の盛夏期に実施した短期太陽熱土壌消毒後のミズナ萎凋病の発病株率

年	試験区	8月中旬 (1作目)		9月~10月 (2作目)	
		発病株率 (%)	防除価 <sup>1)</sup>	発病株率 (%)	防除価
2017	消毒	0.6	93.4	0	100
	対照	9.1		8.1	
2018	消毒	2.6	84.9	4.5	88.4
	対照	17.2		38.9	

※2017年は消毒後不耕起で、2018年は約10cmの耕起を実施し、その後ミズナの栽培を行った。

<sup>1)</sup> 防除価 = 100 - (消毒区の発病株率/対照区の発病株率) × 100。

菌の死滅には、40℃以上50時間前後（積算）が必要だと推定した。2018年の処理ではこの時間数を十分に確保できたが、2017年の時間数は大幅に短かった。このような条件においても効果が認められた理由として、ミズナ根部付近での地温の上昇が考えられた。本病が発生する生育ステージでのミズナの根は5cm程度の長さであるが、この浅い位置において本病原菌の死滅に十分な温度となっていた可能性がある。実際に、2018年に本消毒を実施した別のハウスにおいて地温を計測（計測時間数：242時間）した際に、40℃以上の地温を確保時間が15cmよりも5cmで50時間多い事例があった。そのため、未測定であった2017年においても、ミズナの根部付近では高温状態となり菌密度が減少したために、発病株率が減少した可能性がある。

また、2018年の梅雨時期に発生した無作付期間に同様の消毒を10日間実施した際には、土壌の深さ5cmにおいても40℃以上の地温の確保時間が5時間（計測時間数：207時間）であった。この消毒後にミズナを連作したところ、消毒後1作目での防除価は35前後となり、効果は低かった（データ略）。

以上の試験から、ハウスの密閉期間を10日間とする短期太陽熱土壌消毒は、盛夏期に実施することで高い効果を得られる防除方法と考えられた。実際に、リゾクトニア病も含め本症状が多発生する現地圃場において、2018年の盛夏期に同様の消毒を実施したところ、所内ハウスと同様に高い防除効果が認められた（データ略）。

本消毒は簡易な方法であるが、菌密度の回復をできるだけ遅らせ、消毒効果をより持続させるためにはさらなる工夫が必要である。その一つとして、消毒後1作目を不耕起で栽培する方法がある。2018年の処理において、消毒後1作目を不耕起または約10cmの耕起を実施してミズナを栽培したところ、耕起の有無による防除効果

の差異は認められなかった（データ略）が、同様の消毒を実施した現地圃場において、ビニル被覆の除去後に20 cm程度の耕起を行うと、消毒直後であっても菌が検出された事例があった。そのため、生産者へ情報提供を行う際には、消毒後に菌が残存していると考えられる深部まで耕起を行わないよう、注意を促したい。

### おわりに

筆者らの取り組みの中では、盛夏期の無作付期間などに実施する短期太陽熱土壌消毒が、処理当該年の夏期から初秋期におけるミズナ立枯れ症の多発生を回避する有効な防除法だと考えられた。本消毒を実施した生産者には、作業性や防除効果いずれも、好意的に受け止められ

た。そのため、得られた結果は2018年度の県の主要成果として取りまとめ、次年度以降、現地への導入を図っていく予定である。

### 引用文献

- 1) 赤司和隆・前田 要 (1989):北海道農試集報 59:9~19.
- 2) 茨城県 (2014):平成26年度茨城の園芸, <http://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/sansin/yasai/h26ibarakinouengei.html>
- 3) 金田真人ら (2012):日植病報 78:186 (講要).
- 4) 川上知子ら (2012):京都農林セ研報 35:11~24.
- 5) 瓦谷光男ら (2007):日植病報 73:21~24 (講要).
- 6) 三澤知央・泉 咲子 (2012):同上 78:61 (講要).
- 7) 栄森弘己・竹内 純 (2004):関東東山病虫研報 51:61~62.
- 8) 佐山 玲・福田秀樹 (1997):北日本病虫研報 48:103~105.
- 9) 田中弘毅ら (2018):関東東山病虫研報 65:146 (講要).
- 10) 上田賢悦ら (2002):北日本病虫研報 53:52~54.



## 登録が失効した農薬 (2019.3.1~3.31)

掲載は、**種類名**、登録番号：**商品名**（製造者又は輸入者）登録失効年月日。

### 〔殺虫剤〕

- シアントラニリプロール水和剤  
23555：兼商ベネビア OD（アグロカネショウ）19/3/12
- トルフェンピラド乳剤  
20817：三菱ハチハチ乳剤（日本農薬）19/3/19
- BPMC 乳剤  
10626：住化バッサ乳剤（住友化学）19/3/27
- BPMC・MEP 粉剤  
20729：スミバッサ粉剤 50DL（住友化学）19/3/27
- BPMC・MEP 粉剤  
20736：スミバッサ粉剤 20DL（住友化学）19/3/27
- カルタップ・BPMC 粉剤  
21729：ST パダンバッサ粉剤 DL（住友化学）19/3/27

### ●石灰硫黄合剤

- 18056：アグロス石灰硫黄合剤（住友化学）19/3/27

### 〔殺虫殺菌剤〕

- カルタップ・BPMC・バリダマイシン粉剤  
14547：パダンバッサバリダ粉剤 DL（住友化学）19/3/27
- BPMC・MEP・バリダマイシン・フサライド粉剤  
14586：ラブバッサバリダスミ粉剤 DL（住友化学）19/3/27
- BPMC・MEP・フサライド粉剤  
20771：ラブサイドスミバッサ粉剤 50DL（住友化学）19/3/27

### 〔除草剤〕

- イマズスルフロン・ダイムロン・フェントラザミド粒剤  
20518：ドニチ1キログラム粒剤（住友化学）19/3/27

### 〔殺菌剤〕

- テトラコナゾール液剤  
20605：ハナガード AL（北興化学工業）19/3/5



# イネいもち病抵抗性を定量的に評価する 室内接種系の構築

石川県立大学 生物資源環境学部 生産科学科 <sup>たか</sup>高 <sup>はら</sup>原 <sup>ひろ</sup>浩 <sup>ゆき</sup>之

## はじめに

イネといもち病菌の研究では、解析のレベルや目的に応じて様々な接種法や抵抗性評価法が考案されている。例えばパンチ接種やマイクロピペット等を使った接種法は、いもち病菌を任意の場所に接種でき、主に温室や室内での試験や顕微鏡を用いた細胞レベルでの解析に用いられる。一方、イネ全体への発病や圃場レベルの試験、防除試験等には、器具による影響の少ないスプレー接種や、発病しやすい環境での栽培、畑晩播栽培等による方法がある。接種や抵抗性評価には、接種から観察までにプロトコルに現れにくい経験的な技術が必要であり、また野外での栽培試験は環境の影響に大きく左右される等、安定した病徴・病斑を再現するのはしばしば困難となる。また、多検体を扱う場合には、圃場や温室のスペースや高価な接種箱等が必要となり、労力に加えて施設やコスト面の制限もある。さらに、いもち病の病徴も達観で調査されることから、発病程度の評価も試験者の判別スキルに依存する。本稿では、筆者らが考案した安価な接種箱を用いたいもち病菌の室内接種法(高原・清水, 2018)と、いもち病抵抗性、すなわち罹病程度をイネ体の新鮮重から定量評価する方法を組合せた室内接種系のアイデアについて概説する。

## I 室内接種系の概要と特長

本稿で紹介する接種法は、天候などの環境条件に左右されない室内で育苗期のイネ体を用いることで、省スペースで多検体に安定して接種を実施できる点が特長である。接種ボックスは、安価な材料で簡易に組み立てられ、使用後も簡単に片づけられる。また、いもち病の接種は、通常1回行うのが一般的であるが、本法は接種を2回行うことで、いもち病をより発病させる環境条件にする点が特長である。さらに、見た目による病徴評価ではなく、

*In vitro* Inoculation Method for Quantitative Evaluation of Rice Blast Resistance. By Hiroyuki TAKAHARA

(キーワード: イネ, いもち病, 抵抗性, 室内接種法, 定量評価, 新鮮重)

罹病程度をイネ体の生重量で評価することから、数値的な検定にプラスして統計的な視点を持ち込むことができる点も特長として挙げられる。

## II 接種ボックスの構造と組み立て

### 1 材料

接種に必要な材料は以下の通りである(図-1a)。

- ①接種ボックス: フタ付きのプラスチックボックス(本稿ではタッグボックス 07: 内寸 W540 × D370 × H285 mm, 伸和製を使用)
- ②超音波式加湿器(本稿では SHIZUKU mini, AHD-035, アピックスインターナショナル製を使用)
- ③加湿の分配ジョイント: プラスチックボックス(本稿ではタッパーを使用)
- ④接続: 透明ビニールホース(外径 26 mm)
- ⑤育苗セルトレイ: 穴径 3 cm × 3 cm の連結トレイ

### 2 組み立て

組み立ての手順は以下の通りである(図-1b, c)。

- ①接種ボックスのフタ面上部に直径 25 mm の穴をあける。
- ②分配ジョイントに必要な試験区数に応じて同様の穴をあける。
- ③加湿器, 分配ジョイント, 接種ボックスを透明ビニールホースで連結する。

## III イネ体の準備といもち病菌の接種

以下に播種から接種までの手順を示す(図-2)。

- ①育苗セルトレイに粗粒状土壌(キセキ培土ラブリー, キセキ北陸)を敷き詰め, 消毒, 催芽処理した初を5粒ずつ3反復で播種する。
- ②ガラス室内で10日から2週間, 2.5葉期まで生育させる。
- ③育苗セルトレイごと接種ボックスに移し, 株元が少し浸かる程度の水を加え, 植物全体にいもち病菌の分生子懸濁液( $5 \times 10^4$  個/ml)を1ボックス当たり約 20 ml 噴霧する。
- ④フタをして加湿器を連続稼働させながら室温で24時間静置する。
- ⑤フタを少しだけあげ, 外気に数時間ならした後, 接種

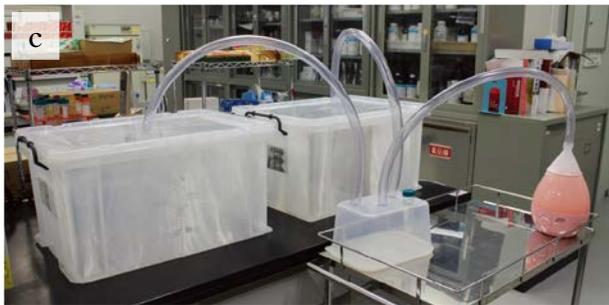
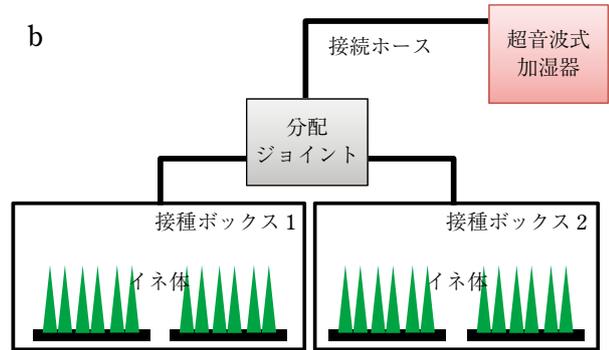


図-1 いもち病菌の簡易接種ボックス  
 a 接種ボックスの材料, b 組み立て概略図,  
 c 接種実験の様子.

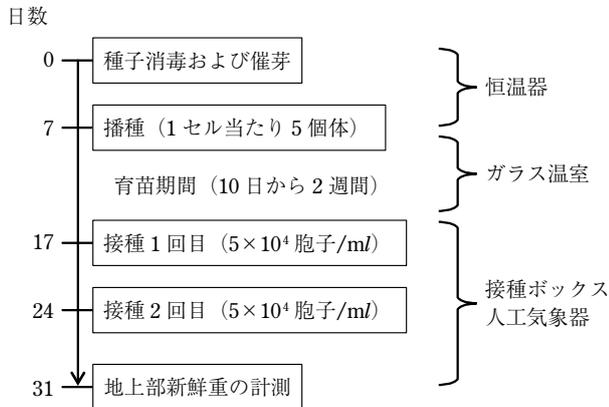


図-2 手順とタイムフロー

イネを明期 14 時間, 暗期 10 時間, 温度 27℃ の人工気象器に入れ, イネ体の地際部まで水を灌水させた状態で 6 日間生育させる。

⑥同様の方法で再度いもち病菌を接種し, 同様の条件下で生育させる。

#### IV 生重量の測定による罹病度の評価

- ①イネ 5 個体を地際部からていねいにハサミで切り取る。
- ②地上部の生重量 (5 個体の合計) を天秤で計測する。
- ③ 3 反復の生重量をそれぞれ計測する。
- ④独立した 3 セットの接種試験を行い評価する。

#### V 本法のポイント

##### 1 接種ボックスの加湿

加湿器と透明ホースを接続する工夫が必要である。加湿器の噴出部分がとがった構造をしていけば工作しやすい。連結部分からの加湿空気の漏れを防ぐため, 穴径をホース直径より 1 mm 程度小さくする。また必要であれば, 連結部分や接種ボックスのフタを粘着テープなどでシーリングするなどの工夫をする。

##### 2 接種イネの生育

本法の罹病程度の評価は生重量の測定で行うため, イネ体の生育をそろえることがポイントとなる。播種前に籾の催芽処理を行い, 発芽がそろったものを育苗する。徒長させないように生育させる。トレイを用いた育苗を行うとイネ体を接種ボックスに移動させやすく, また同条件の反復を取りやすい。本稿で示した接種ボックスのサイズで, 1 検体当たりイネ 5 個体で, 約 130 検体を一度に接種できる。

##### 3 接種とその後の生育

暗期に温度が高いと徒長の原因となる。暗期の温度を



図-3 本法によるコシヒカリの病徴

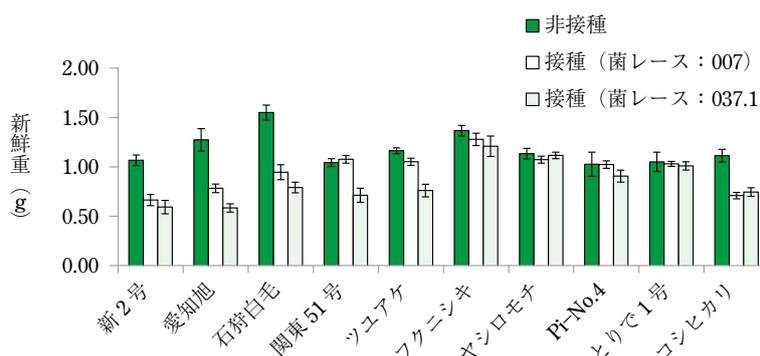


図-4 いもち病菌接種における判別9品種とコシヒカリの生重量の比較  
 ※グラフは独立した3回の試験の平均値, エラーバーは標準誤差。

変更できる人工気象器があれば、それを利用する。徒長するとイネ体がフタまで届いてしまい、2回目の接種実験時に支障をきたす場合がある。1回の接種実験でも病斑は確認できるが、接種を2回行うことで（最初の接種から合計で2週間後）図-3に示すような激しい病徴を引き起こすことが可能であった。

#### 4 生重量の測定

本法で接種された罹病イネは、いもち病特有の枯れあがるような病徴を示すことから、新鮮重に大きな差が表れる。地際部から切り取ったイネ体は、乾燥の影響を受けないようにすぐに生重量を計測する。非接種イネの生重量と比較し、罹病程度を定量的に評価する。本法を用いて、レースの異なるいもち病菌2株をイネ判別9品種とコシヒカリに接種して生重量を測定したところ、罹病性品種では菌レースに依存してイネ体の生重量が顕著に低下していたのに対して、抵抗性品種ではいもち病菌の接種による生重量の低下はほとんど認められなかった（図-4）。このことから、本稿で示した接種法と生重量の測定を組合せた評価方法は、いもち病抵抗性を定量的に評価する新しい技術として利用できるのではないかと考えられた。ただし、生重量を用いた評価は、病斑形成の有無や病徴の伸展程度を基準とした従来の評価とは異なる。特に様々な品種が持つ抵抗性遺伝子の強さを定量的に評価する場合には、比較する材料間で生育や形質の差

による生重量の違いが出ないように、遺伝的背景をそろえたNILを用いた解析が有効と思われる。

#### おわりに

様々な抵抗性品種やマルチライン等が普及している現在でも、抵抗性のブレイクダウン（抵抗性品種の突然の罹病化）の問題は常に隣り合わせに存在しており、いもち病菌レースのモニタリングは欠かせない。圃場や設備を持たない事業所や出先機関、JA等の現場に近い部署で迅速に菌レースが検定できれば、イネ栽培地域ごとに発生リスクを予測することにもつながる。本稿で紹介した室内接種法は、気象条件等に左右されずに、播種から定量化まで約1か月と短期間で終了する。人工気象器以外はホームセンターなどでそろえられる材料で実施できるように工夫してある。このような安価な接種法が現場での簡易的なレース検定などに応用できればありがたい。また生重量を用いた抵抗性評価法は、客観的な数値化にもつながる。個人の判別スキルに依存しないで実施できることから、フラットな評価基準の一つとしても重要な視点であることを付け加えておく。

#### 引用文献

- 1) 高原浩之・清水琢斗 (2018): 北陸病虫研報 67: 21~23.

## 農業生産現場におけるマルチコプターの活用例

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 よし だ たか のぶ  
 農業技術革新工学研究センター 吉 田 隆 延

### はじめに

近年、ドローンなどのマルチコプターの研究開発が進み、様々な分野で利活用されている。特に農業分野では、作物生育測定や病虫害防除作業に関する技術開発が進んでいる。現在では、ドローンにより空中から圃場などの現状を画像として簡易に管理、測定できる技術が開発され、農薬散布や肥料散布等の農作業も省力的に行うことができることから、農業生産現場でドローンの利用が急速に進んでいる。さらに、ドローンなどを利用した農作業では、農業従事者が作業のために圃場に入る必要がなく省力的であり、特に中山間地などの大型農業機械での作業が難しい生産現場ではドローン本体の移動の簡便さから、様々な管理作業への適用化が求められている。そこで、農業技術革新工学研究センターでは、ドローンを利用した栽培管理技術の研究開発と有用性の検証を行っている。

本稿では、当研究センターで取り組んでいるマルチコプターの研究について、2019年1月の日本植物防疫協会主催シンポジウム「スマート農業時代の植物防疫を考える」で行った講演内容を中心に紹介する。

### I 水稻の生育情報に基づく追肥技術

本研究は滋賀県農業技術振興センターとの共同研究であり、当研究センターが開発した生育情報測定装置（図-1, <http://www.naro.affrc.go.jp/org/brain/PF/keitai/keitai.htm>）をドローンに搭載して水稻の生育情報を測定し、追肥量を決定することで、通常の人による生育量測定作業の省力化と収穫時の水稻の収量と品質の差異を改善することを目的に行った。

#### 1 生育情報測定装置と生育測定ドローンの試作

開発した生育情報測定装置は、フォトセンサで赤外線と赤の葉と土壌に対する反射率を測定し、作物の生育情報を NDVI 値（図-2）として数値化する装置である。本装置を搭載して、空中より生育情報が測定可能な生育測定ドローン（以下、生育測定ドローン）を試作した（図-3）。

#### 2 生育情報測定と生育マップの作成

生育測定ドローンを用いて、滋賀県農相技術振興センター内の2圃場（20 m × 80 m）における幼穂形成期の水稻生育量を測定した。試験圃場は、あらかじめ元肥投入量を多、中、少の3試験圃場に設定した。測定条件は、飛行高さ3 m、飛行速度5 m/秒で水平飛行し、測定範



赤外線と赤色の葉と土壌の反射率を利用して生育量（NDVI 値）を測定する

図-1 開発した生育情報測定装置

Use Example of Multicopter in the Agricultural Production. By  
 Takanobu YOSHIDA

（キーワード：マルチコプター、生育測定、生育情報、農業生産）

**NDVI 値とは**

Normalized Difference Vegetation Index  
日本語では「正規化差植生指数」  
「正規化植生指数」「植生指数」  
植生の分布状況や活性度を示す指標

$$NDVI = \frac{IR \text{ 反射率} - R \text{ 反射率}}{IR \text{ 反射率} + R \text{ 反射率}}$$

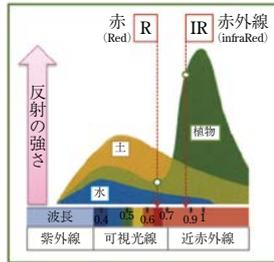


図-2 NDVI 値について

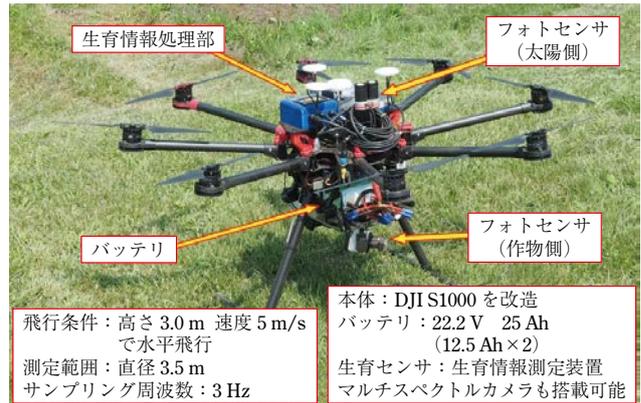


図-3 試作した生育測定ドローン

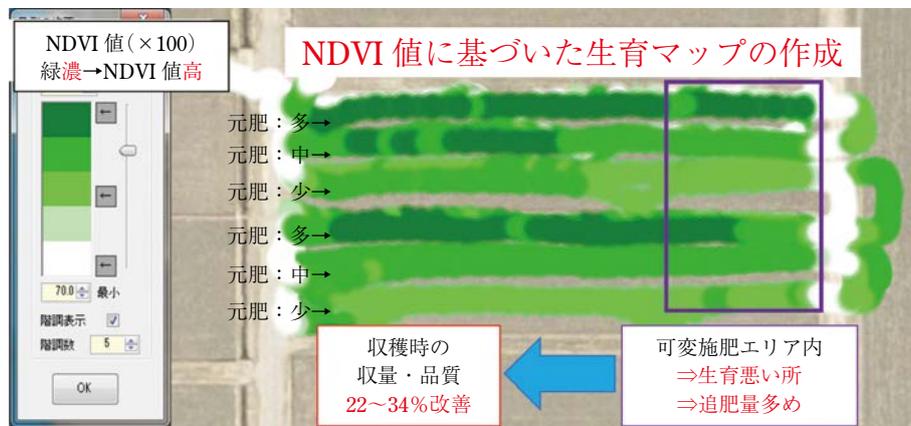


図-4 測定した NDVI 値をもとにした生育マップの作成

圃は直径 3.5 m の円内の平均 NDVI 値を測定した。測定した NDVI 値をもとに、当センターの開発ソフト Farms を用いて生育マップ (図-4) を作成した。

**3 生育情報測定作業の省力化と生育マップによる追肥施肥効果**

試験圃場での生育量測定にかかる作業時間は、生育測定ドローンを用いた場合、人による測定時間と比較して 1/54 に短縮され、大幅な省力化が可能となった。また、測定値をもとに作成した生育マップは、元肥投入量に応じて生育差が確認され、本マップの情報をもとに各試験区の追肥量を変えたところ、各試験区間の収量・品質のばらつきが 22~34%改善された。

**II マルチスペクトル画像と AI による農作物データの推定**

本研究は埼玉県農業技術研究センターとの共同研究であり、水稻の高温障害などを軽減するため、ドローンとマルチスペクトルカメラを用いて簡便に水稻の生育量を測定する技術の開発を行っている。

本研究では DJI 製ドローン Phantom4 にマルチスペク

トルカメラ (Sequoia : Parrot 社製) をジンバル (3 軸スタビライザー) とともに搭載し、上空から圃場の画像を安定して取得できるように改造して水稻の生育量測定を行った。マルチスペクトルカメラは、フルカラーのほかに赤外線画像も取得できるため、圃場の NDVI 値を測定することが可能である。本装置で取得した NDVI 値をもとにフリーソフト QGIS を利用して生育マップを作成したところ、圃場の施肥むらによる生育むらが詳細に調査できることが明らかになった (図-5)。

今後は、数多くの画像、収量、生育量データ等をもとに AI システムを構築し、圃場の画像データから生育量や収量を高い正解率で推測可能な AI システムの開発を行う予定である。

**III 大豆の生育情報に基づく倒伏診断技術**

本研究は農業・食品産業技術総合研究機構 (以下、農研機構) 東北農業研究センターとの共同研究であり、ドローンの空撮画像をもとにダイズの草丈を測定し、ダイズの倒伏診断を行って肥料設計や収穫時期の推測を行うための技術開発を行っている。

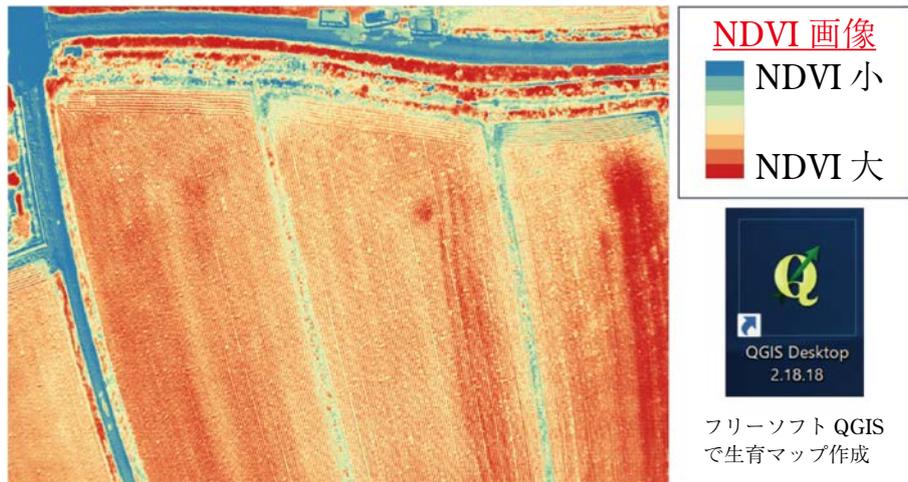


図-5 マルチスペクトル画像による NDVI 値測定と QGIS を利用した生育マップ作成

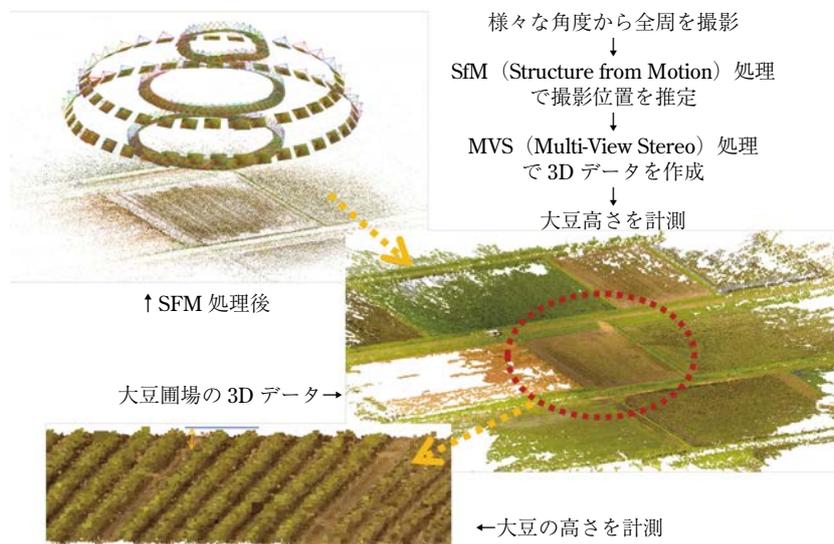


図-6 ドローン空撮画像を基にした圃場の 3D モデル作成方法

具体的には、ダイズの草丈を測定するため、ドローンの空撮画像からダイズ圃場の 3D モデルを作成する。圃場の 3D モデルの作成方法を図-6 に示す。最初に様々な角度から圃場全周の画像を撮影し、SfM (Structure from Motion) 処理により複数画像からカメラの撮影位置を推定した。さらに、MVS (Multi-View Stereo) 処理により、カメラの撮影位置から 3D 形状を復元した。最後に圃場の 3D モデルからダイズの草丈を測定して、生育診断を行った。一連の画像処理には、VisualSFM, Open-DropMap, MeshLab 等のフリーソフトを利用した。本方法により、ドローンの空撮画像からダイズ圃場の 3D モデルの作成が可能となった。現在、3D モデルの精度を向上させるため、画像取得や解析方法等について検討を行っている。なお、ドローンを用いて圃場の凹凸を計測する方法については、農研機構農

業環境変動研究センターよりマニュアル、([http://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/pamphlet/tech-pamph/080528.html](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/080528.html)) が公表されている。

#### IV ドローンを用いた果樹の病虫害診断に関する研究

本研究は、当研究センターが研究協力機関として参画している農林水産省の平成 30 年度戦略的プロジェクト研究推進事業「ドローンやセンシング技術を活用した果樹の病虫害防除管理効率化技術の開発」(略称：傾斜地ドローン、代表研究機関：農研機構果樹茶業研究部門)で行った研究であり、ドローンで撮影した画像からカンキツかいよう病の病斑とハモグリガ食害痕の検出の可能性について検討した。

本研究では、プロジェクト参画機関である静岡県農林

各波長の画像における赤点部分の濃淡を調査		カンキツかいよう病		ハモグリガの食害痕	
		画像	濃淡(0~255)	画像	濃淡(0~255)
赤外線画像 ↑ ↓ 可視光域画像	NIR		病斑：169 葉表面：214 差分：45		食害痕：177 葉表面：123 差分：54
	REG		病斑：162 葉表面：236 差分：74		食害痕：230 葉表面：194 差分：36
	RED		病斑：189 葉表面：70 差分： <b>119</b>		食害痕：105 葉表面：48 差分： <b>57</b>
	GRE		病斑：190 葉表面：113 差分：77		食害痕：179 葉表面：100 差分： <b>79</b>

◎**カンキツかいよう病**：差分が最も大きい(見分けやすい)のは**赤**、次いで**緑・レッドエッジ**

◎**ハモグリガの食害痕**：差分が大きいのは**緑**、次いで**赤**

図-7 ドローン撮影画像からのカンキツかいよう病の病斑とハモグリガ食害痕の検出について

技術研究所果樹研究センターのカンキツ圃場において、カンキツかいよう病とハモグリガが発生しているカンキツ樹をドローンにより飛行しながら動画撮影し、撮影画像から上記の病斑と食害痕の検出を行った。画像の撮影には、マルチスペクトルカメラを利用した。

画像解析の結果、カンキツかいよう病については、最も見分けやすい(差分が大きい)のは赤、次いで緑とレッドエッジの画像であった(図-7)。ハモグリガの食害痕については、最も見分けやすい(差分が大きい)のは緑、次いで赤であった(図-7)。本研究により、両病虫害の検出には可視光域画像のほうが赤外線画像よりも判別しやすいことが明らかとなり、ドローン搭載のカメラ画像で十分検出が可能であった。

本プロジェクトでは、画像によるディープラーニングを利用したAIシステムにより、ドローン画像などからの病虫害の検出診断技術の研究開発を行っている。また、本プロジェクトでは、果樹園での農薬散布を可能にするドローンの開発や果樹園におけるドローンの濃厚少量散布技術に関する研究も行っており、ドローン利用による果樹園の防除作業の効率化と省力化が期待されている。

### V 直播栽培圃場における鳥害軽減技術

本研究は、岩手県農業研究センターとの共同研究であり、農研機構中央農業研究センター鳥獣害グループより助言をいただきながら研究を行っている。具体的には、

水稻の直播栽培圃場における鳥害を、ドローンの利用により軽減する技術の開発を行っている。

2017年度は、岩手県陸前高田市の水田直播栽培圃場において、飛来してきたウミネコ、カルガモ、スズメ、ヒバリ、カラス等のドローンに対する反応を調査した。その結果、スズメ、ヒバリ、カラスはドローンの単純接近だけで逃げる事が確認されたが、ウミネコ、カルガモはドローンの単純接近だけでは鳥除効果が確認できなかった。そこで、2018年度はドローンに軽量のプラスチックチェーンを搭載し、ウミネコ、カルガモに対する鳥除効果について調査を行った。その結果、プラスチックチェーン搭載ドローンで単純接近するだけで、ウミネコ、カルガモともに飛び立って逃げる事が明らかとなり、鳥除効果が確認できた。

今後は、本ドローンの効果の程度や慣れについても詳しく調査を行い、鳥が圃場内に侵入したときに自動でドローンを航行させるなど、鳥の学習能力を打破するような鳥害対策技術の開発を行っていく予定である。

### おわりに

本稿では、当研究センターで行っているドローン関連課題を中心に紹介した。当研究センターでのドローンの活用は、I章で紹介した生育情報測定装置をドローンに搭載して、簡単に作物の生育診断を行う技術を開発することを目的として利用したのがはじめてであった。本研究

の研究期間中に、関心を持っていただいた上記の共同研究機関から、農業生産現場でのさらなるドローンの利活用技術の開発について声をかけていただいた結果、このような多岐にわたる研究内容へと発展してきた経緯がある。このことは、ドローンを利用して多くの栽培管理作業を行い、省力化したいという要望が農業生産現場に数

多くあるということにはほかならない。今後も当研究センターでは、ドローンを利用して農作業の効率化と省力化に貢献するような技術開発を行っていく予定である。

最後に、本研究に関してご協力いただいている上記の共同研究機関の皆様、心より厚く御礼申し上げる。

## 新しく登録された農薬 (2019.3.1~3.31)

掲載は、**種類名**、登録番号：**商品名**（製造者又は輸入者）登録年月日、有効成分：含有量、**対象作物**：対象病害虫：使用時期等。ただし、除草剤・植物成長調整剤については、**適用作物**、**適用雑草**等を記載。

### 「殺虫剤」

#### ●アシノナビル水和剤

24213：ダニオーテフロアブル（日本曹達）19/3/20

アシノナビル：20.0%

かんきつ：ミカンハダニ：収穫前日まで

りんご：ハダニ類：収穫前日まで

なし：ハダニ類：収穫前日まで

おうとう：ハダニ類：収穫前日まで

小粒核果類：ハダニ類：収穫前日まで

いちご：ハダニ類：収穫前日まで

なす：ハダニ類：収穫前日まで

すいか：ハダニ類：収穫前日まで

#### ●アシノナビル乳剤

24214：ダニオーテ乳剤（日本曹達）19/3/20

アシノナビル：20.0%

茶：カンザワハダニ：摘採14日前まで

#### ●ペルメトリンエアゾル

24217：ガーデンアース B2（アース）19/3/27

ペルメトリン：0.20%

樹木類：ケムシ類

### 「殺菌剤」

#### ●テブコナゾール水和剤

24212：パノラマフロアブル（曙通商）19/3/13

テブコナゾール：40.0%

西洋芝（ベントグラス）：雪腐小粒菌核病：根雪前

西洋芝（ブルーグラス）：雪腐小粒菌核病：根雪前

西洋芝（ブルーグラス）：ダラースポット病：発病初期

#### ●イミノクタジン酢酸塩・ピカルブトラゾクス水和剤

24215：ディプロイフロアブル（日本曹達）19/3/27

イミノクタジン酢酸塩：5.0%

ピカルブトラゾクス：5.0%

西洋芝（ベントグラス）：炭疽病，ダラースポット病，  
ピシウム病，赤焼病：発病初期

西洋芝（ベントグラス）：根重の増加：生育期

### 「除草剤」

#### ●グリホサートカリウム塩液剤

24216：ハットトリック（シンジェンタ）19/3/27

グリホサートカリウム塩：44.7%

樹木等：一年生雑草，多年生雑草，スギナ，ヒレハリソウ，ススキ，クズ，ササ類，マツヨイグサ類，雑かん木

## { 日植防シンポジウムから }

# 気象データを利用した害虫の発生予測

—メッシュ農業気象データシステムを利用した害虫の発生予測の利点と課題—

三重県農業研究所 <sup>にし</sup>西 <sup>の</sup>野 <sup>みのる</sup>実

## はじめに

発生予測をはじめ、病害虫の発生を予測するうえで気象データは重要な情報であるのは言うまでもない。気象データを活用した病害虫の発生予測システムとしては、これまでに BLASTAM などの病害の感染好適日予測やウンカ類の飛来予測、有効積算温度計算シミュレーションを利用した害虫の発生時期予測等があり、JPP-NET などで公開・利用されている。また、千葉県農林総合研究センターが開発したナシ病害防除支援情報システム「梨病害防除ナビゲーション」のように、圃場に設置した気象観測装置による観測値やアメダスデータを利用して病害の防除支援となる情報を提供するシステムも利用されている（金子，2016）。

気象データを活用した病害虫の発生予測は、アメダスデータを利用したものが多い。しかし、予測したい場所がアメダス観測地点と離れているなど、必ずしも予測したい場所の予測ができていないことがある。

本稿は「メッシュ農業気象データシステム」を用いた害虫の発生予測技術の開発について解説を行うことを目的としている。筆者自身は気象情報を利用した害虫の発生予測を専門としている研究者ではないので、本稿は専門家の視点ではなく、本システムの一ユーザーとしての視点での解説となることをご容赦願いたい。

## I メッシュ農業気象データシステムについて

メッシュ農業気象データシステムは、気象情報が農業現場で有効に活用されることを目指して、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構が開発・運用している気象データサービスシステムである。本システムでは全国の日別気象データを、約 1 km 四方（基準地域メッシュ）を単位にオンデマンドで提供しており、1980 年以降の 1 月 1 日から現時点の翌年 12 月 31 日までの期

間の 14 種類の気象要素を提供している（一部のデータについては 2008 年から）（大野ら，2019）。

本システムの利用には特別な機材は必要なく、市販スペックのパソコンとインターネットに接続可能な環境があればほとんど問題なく利用できる。利用にあたっては利用者登録が必要であるが、メッシュ農業気象データの WEB サイトから簡単に登録を行うことができる。

本システムからデータをダウンロードする際は、ひとまず Microsoft Excel がインストールされていれば利用できる。メッシュ農業気象データ開発チーム（以下、開発チーム）によって用途にあわせたメッシュ農業気象データ取得 Excel ファイルが作成されており、システム WEB サイトで公開されている。これらファイルを利用すれば容易にデータをダウンロードできる。さらに、開発チームによりプログラミング言語 Python を用いて開発されたデータダウンロードのためのツールや、用途に合わせたサンプルプログラムが、WEB サイトで公開されている。これらのツールやサンプルプログラムを利用すれば、データを自由に処理することができ、データの取得から処理、結果の出力までを自動化することも可能である。筆者の経験からも Python によるプログラミングの経験がない場合は、このような利用方法にとまどわれることと思う。しかし、システムの WEB サイトでは、Python の利用環境をパソコン上に構築するマニュアル、ツールやサンプルプログラムの解説が書かれたマニュアル、さらに研修資料も公開されており、これら資料を参照しながら操作を行うことで、本システムを利用できる。Python の利用環境についてもフリーウェアで構築されているため無料で使用できる（図-1）。

本システムの詳細については本誌 2019 年 2 月号もしくは、本システムの WEB サイトを参照していただきたい。

## II 有効積算温度を用いた害虫の発生予測

発育零点と有効積算温度は害虫の年間世代数や発生時期等の予測に必要なパラメーターである。桐谷（2012）は昆虫、ダニ類、線虫類の発育零点と有効積算温度の報

Prediction of Pest Occurrence using Weather Data. By Minoru NISHINO

（キーワード：メッシュ農業気象データ，発生予測）

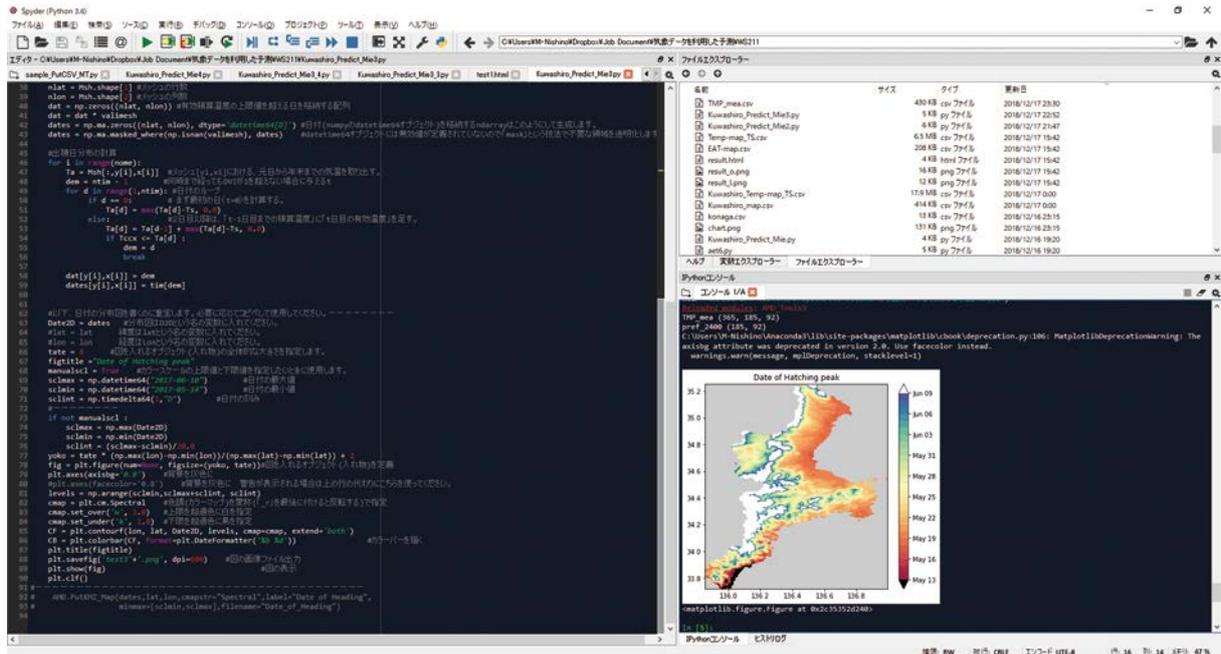


図-1 メッシュ農業気象データ WEB サイトで推奨している Spyder を利用した Python 利用環境

告を日本に分布するものを中心に収集してとりまとめているが、その報告は 580 種、900 編におよび、その中には害虫も含まれている。これらの発育零点や有効積算温度のデータは十分に活用されている状況とは言えないが、果樹、茶等のカイガラムシ類などでは、防除時期の把握のために実用的に利用されている。

三重県では茶のクワシロカイガラムシについて、防除時期を把握するために有効積算温度シミュレーションを利用したふ化盛期の予測を利用している。具体的には JPP-NET に実装されている有効積算温度計算シミュレーションを利用しており、パラメーターについては武田 (2002) による、発育零点：10.5℃、越冬世代雌成虫 50% 産卵期の有効積算温度：150 日度、第 1 世代幼虫ふ化盛期：287 日度、シミュレーション起算日：1 月 1 日を利用している。このシミュレーション結果は、病害虫防除所から予察情報として指導機関、生産者に情報提供されて、防除適指導に活用されている。

しかし、現行の方法ではアメダス観測地点での予測であるため、アメダス観測地点から離れている産地については、アメダス観測地点での予測値から類推するしかない状況である。経験豊富な生産者や指導者であれば、産地近隣の予測値であっても、十分に防除情報として活用できるかもしれないが、経験の浅い生産者や指導者にとっては活用しにくい情報となってしまう。そのため、予測したい地点で予測が可能となるように、三重県では農業研究所茶業研究室を中心に、メッシュ農業気象データ

を利用したチャのクワシロカイガラムシの第 1 世代ふ化盛期の予測の試行を始めている。現段階では、メッシュ農業気象データを利用した予測について、研究所内の茶園での第 1 世代ふ化盛期の実測値との比較を行っているところである。また、県内各産地での予測結果を視覚的に理解しやすい形で活用するために、メッシュ農業気象データシステム WEB サイトで公開しているサンプルプログラムを改変利用して、予測図を作成できるように取り組んでいる (図-2)。

メッシュ農業気象データを利用した有効積算温度シミュレーションは、パラメーターさえ明らかとなっていれば、予測値の算出は容易である。しかし、その予測値の精度の検証は重要である。

従来の有効積算温度シミュレーションでは、当日から先の未来の値をすべて平年値で代用することが多かったが、メッシュ農業気象データに格納している当日から先の未来の値は、平年値だけを使用しているのではなく、26 日先までは各種予報値を利用しているため、本システムを利用したシミュレーションでは、予測精度が高まることが期待されている。

一方、メッシュ農業気象データは日別データで構成されており、時別データは登録されていないため、そのままでは時別データを用いた有効積算温度シミュレーションに対応できない。時別データで利用している有効積算温度シミュレーションを、パラメーターを変えずに日別データで運用する場合は、予測値やその精度について検

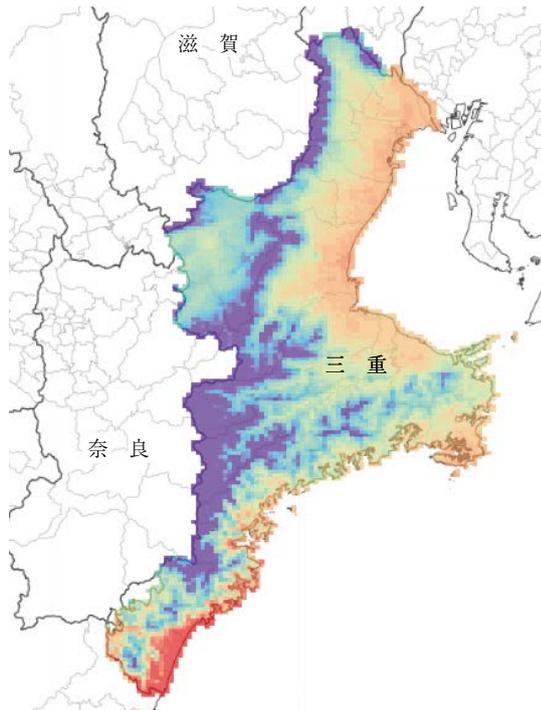


図-2 メッシュ農業気象データ WEB サイトで公開されている Python によるサンプルプログラムを利用して描画した予測図 (予測結果を白地図上に重ねて描画)

証したうえで利用することが必要である。三角法 (坂神・是永, 1981) などを用いて日別データ (最高気温, 最低気温) から, 時別データで算出した有効積算温度の近似値を算出して使用することも一つの手法である。今後, メッシュ農業気象データでも時別の気象データを利用できるようになることが望まれる。

### III 害虫の分布予測

害虫の分布範囲を推定し, その変化を予測すること, 特に害虫の分布拡大を予測することは重要である。害虫の分布拡大要因には様々なものがあるが, 冬期の気温上昇など, 気象条件が害虫の分布を拡大する要因として考えられることも少なくない。これまでは, 害虫の分布を気象データで解析しようとしても, 気象メッシュデータが入手できなかったり, 入手できたとしても容易に解析に用いることができるフォーマットになっていなかったりしたため, 利用することが困難であったと思われる。しかし, メッシュ農業気象データを利用すれば, 比較的簡単に害虫の分布データと気象情報をリンクさせて解析することができる。

また, メッシュ農業気象データには, 気象データだけではなく, 各メッシュの平均標高や面積, 土地利用比率等の地理情報もメッシュデータとして整備されている。害虫の分布などを解析する際, 周辺環境の要因などで解

析したい場合, 1 km メッシュの水田や森林の利用比率を利用して簡易的に解析することも可能である。

三重県では, ミナミアオカメムシの越冬可能地域予測モデルを作成する際にメッシュ農業気象データを活用した。具体的な利用方法は次の通りである。

①5月中旬～6月上旬に県内のコムギ圃場を巡回して越冬世代の分布の有無を複数年調査した。②越冬世代の分布調査を行った地点の冬期の気象データをメッシュ農業気象データからダウンロードして, 説明変数とした。③メッシュ農業気象データから気象データを取得する際に, 「日平均気温の任意の期間の移動平均値」や「日平均気温が任意の気温未満となる日数」といった変数に加工して取得した。④越冬世代の分布の有無を目的変数とし, メッシュ農業気象データから取得した気象データを加工したデータもしくは地理情報等を説明変数として作成したロジスティック回帰モデルについて AIC を基準としたモデル選択を行った。⑤モデル選択の結果得られたロジスティック回帰モデルをミナミアオカメムシの越冬可能確率を予測するミナミアオカメムシの越冬可能地域予測モデルとした。

作成した分布予測モデルの回帰式を組み込んだ Python プログラムを用いることで, メッシュごとに予測値を算出でき, GIS などを利用すれば広域の予測図も作成できる。さらに, メッシュ農業気象データでは気候変化シナリオデータも 1 km メッシュで準備されているため, 温暖化による害虫の分布への影響などの評価にも活用することが可能である。

### IV 展望と課題

害虫の発生予測に, メッシュ農業気象データを活用することで, 気象データの利用が身近なものになり, 有効積算温度シミュレーションや害虫の分布予測以外に活用幅も拡大することが期待される。そして, 携帯端末で利用可能なオンデマンドの害虫予測アプリのようなサービスの提供が可能となるかもしれない。そのためには, 一般的な害虫を網羅する予測システムとする必要がある。一方で, 本システムを利用することで, 容易に気象データを用いた害虫発生予測ができ, 予測値が算出できるが, 実用化する予測システムは, その精度について検証されている必要がある。

#### 引用文献

- 1) 金子洋平 (2016): 日本農業学会誌 41 (2): 204~208.
- 2) 桐谷圭治 (2012): 農業環境技術研究所報告: 1~74.
- 3) 大野宏之ら (2019): 植物防疫 73 (2): 31~35.
- 4) 坂神泰輔・是永龍二 (1981): 応動昆 25 (1): 52~54.
- 5) 武田光能 (2002): 平成 13 年度野菜茶業研究成果情報: 65~66.

植物  
防疫  
講座

病害編-17  
麦類赤かび病の発生生態と防除

農研機構農業情報研究センター よし だ め ぐ み\*

はじめに

麦類赤かび病は、*Fusarium graminearum* 種複合体などの病原菌によりコムギやオオムギ等の穂に発生する病害であり、麦類の登熟期間中に雨の多い日本では避けることのできない病害である（図-1）。近年は気象変動の影響などにより、世界的にも本病が発生しやすくなっており問題となっている（WEGULO et al., 2015）。本病は収量や品質低下をもたらすだけでなく、デオキシニバレノール（DON）およびニバレノール（NIV）等の人畜に有害なかび毒（マイコトキシン）（図-2）による収穫物汚染を引き起こすことで、近年は国際的にも、特に食品安全性の面から重要視されている。日本では2002年に

厚生労働省がコムギ中に含まれるDONの暫定基準値を1.1 ppm (mg/kg)と設定し、現在この基準値を超えるコムギを市場流通させないように指導されている。さらに、農産物規格規定の改定により、2003年産麦より赤かび粒\*\*の混入が0.0%を超えた場合（0.05%以上の場合は規格外となる極めて厳しい検査規格となった。こうした背景のもと、赤かび病の防除の徹底を図ることが極めて重要となっている。

I 麦類赤かび病の症状と赤かび病かび毒について

本病に侵された穂は、その一部あるいは全体が褐色化ないし灰白化し、特にコムギにおいて、しばしば穎の合わせ目を中心にサーモンピンク色の分生孢子塊（スポロ

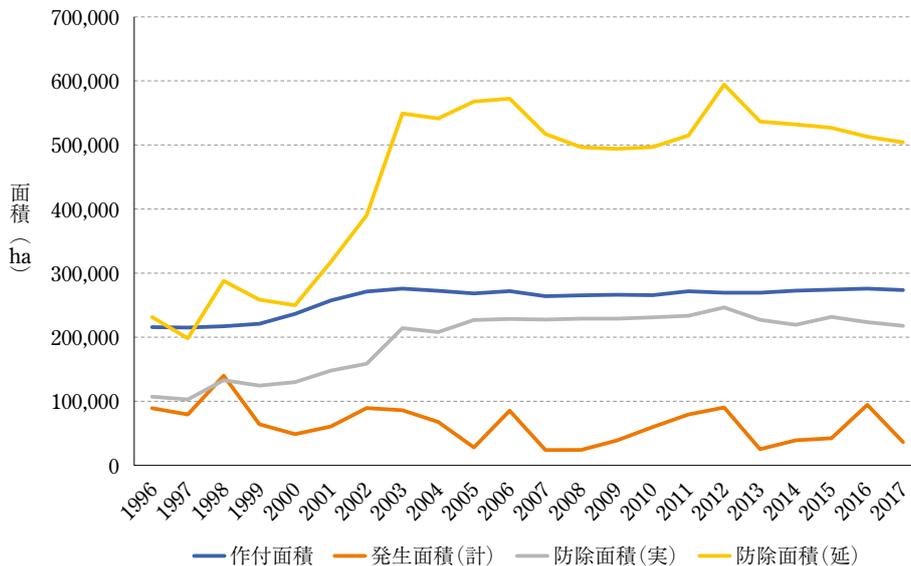


図-1 我が国における近年の麦類の作付面積と赤かび病発生面積および防除面積  
農林水産省の作物統計調査データおよび JPP-NET の病害虫発生防除状況データベースより作成。なお発生面積の集計には、かび毒非産生の赤かび病菌による発生や、発生程度が少ない場合も含まれる。コムギでDONの暫定基準値が設定された2002年ごろから防除の徹底が図られ防除面積が増加している。

Ecology and Control of Fusarium Head Blight in Wheat and Barley.  
By Megumi YOSHIDA

(キーワード：赤かび病，かび毒，デオキシニバレノール，ニバレノール，オオムギ，コムギ)  
\*東北農業研究センター兼務

\*\*ただし農産物規格規定（平成13年農林水産省告示第244号）では、「赤かび粒」を「赤かび病菌等に侵されて赤色を帯びた粒をいう。」と定義している。



図-3 麦類赤かび病の症状の例

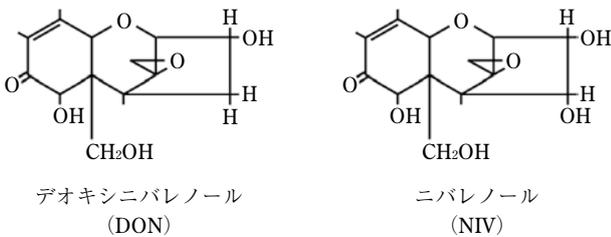


図-2 麦類赤かび病で主に問題となるかび毒

ドキア)を生じる(図-3)。また、古い被害穂には、時として黒色小粒の子のう殻が観察される。穀粒(収穫物)の病徴は、コムギの場合、全体が白変ししわ粒となるのが典型的であり(図-4)、そのような粒に、かび毒が高濃度に含まれる(中島ら, 2004; 相馬, 2015)。オオムギでは、穀粒の一部ないし全体が褐色化する場合が多いが、コムギほど穀粒の病徴が明瞭でない(図-4)。

赤かび病かび毒として主要なトリコセセン系かび毒であるDONとNIVのうち、日本ではその両方の汚染が問題となる。世界的には、DON汚染が普遍的に起こる一方でNIV汚染が問題となる地域は比較的限られており、DONが特に重要視されている。DONやNIVの毒性として、発がん性は認められていないが、一度に摂取した場合に短期間のうちに現れる急性毒性として、嘔吐、食欲不振等が見られるほか、急性毒性を示さない程度の量を長期間にわたって摂取した場合に、成長抑制や免疫系への影響が認められる(食品安全委員会, 2011)。2001年にFAO/WHO合同食品添加物専門家委員会(JECFA)により、DONの暫定的な「耐容一日摂取量」(TDI: ヒトが一生涯にわたり摂取し続けても健康への

悪影響が出ないと推定される一日当たりの摂取量)が1  $\mu\text{g}/\text{kg}$  体重/日と示された\*\*\*。これを受け、2002年に日本においてコムギ中のDONの暫定基準値(1.1 ppm)が設定された。一方、NIVについては現在基準値が設定されていないが、内閣府食品安全委員会において2010年にDONと併せてNIVの健康影響評価が行われており、それぞれのTDIが、DONは1.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  体重/日、NIVが0.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$  体重/日と示されている(食品安全委員会, 2011)。なお、農林水産省では、2002年以降、全国規模での麦類の赤かび病かび毒含有実態調査を行っており、2015年までの14年間の調査結果をとりまとめた内容を2017年に公表している。本報告(農林水産省, 2017)では、国産の麦類のDON・NIV濃度は、生産年により、赤かび病発生状況に応じて異なるが、後述するかび毒汚染低減対策が麦の生産段階で適切に実施されていれば、通常の食生活においてDONやNIVの摂取により健康に悪影響が出る可能性は低いとしている。

## II 赤かび病の原因菌種について

本病の代表的原因菌種である *F. graminearum* 種複合体は、世界各地で問題とされ、日本も含め温暖な地域では本菌が優占する。ほかに、特に北海道においては *Microdochium nivale* (紅色雪腐病の病原菌と同一種)、*F.*

\*\*\*その後JECFAによる2010年の評価では、DONのアセチル体が動物体内でDONに代謝されることから、対象をDON単独からDONのアセチル体を含めたグループとしており、その暫定耐容一日摂取量(PMTDI)を(DON, 3-Ac-DON, 15-Ac-DONのグループとして)1  $\mu\text{g}/\text{kg}$  体重/日としている。



図-4 赤かび病感染穂の穀粒の症状  
左列写真は健全な穂由来の穀粒，右列写真は赤かび病感染穂由来の穀粒。なお本文中に記載の通り，外観上健全な穀粒においても赤かび病菌の感染とかび毒蓄積が認められる場合がある。

*avenaceum*, *F. culmorum* なども関与するが，このうち DON や NIV を産生するのは *F. graminearum* (種複合体) と *F. culmorum* である。

*F. graminearum* 種複合体の菌株は，トリコテセン系かび毒として DON を主に産生する DON 産生型菌と NIV を主に産生する NIV 産生型菌とに大きく分けられる。*F. graminearum* 種複合体構成菌種のうち，日本の麦からは *F. asiaticum* と *F. graminearum* s. str. が主に分離される (須賀，2006；SUGA et al., 2008)。日本における両菌種の地理的分布およびかび毒産生型について，SUGA et al. (2008) が 298 菌株を調査した結果，日本の北部，特に北海道においては *F. graminearum* s. str. が優占し，関東以西では *F. asiaticum* が優占すること，また *F. graminearum* s. str. 菌株はすべて DON 産生型であった

のに対し，*F. asiaticum* 菌株は 7 割が NIV 産生型であったことを報告している。菌の地理的分布と関連し，DON と NIV の汚染傾向には地域間差があり，北海道では DON 汚染が主で NIV 汚染はほとんど認められないが，本州以南では DON だけでなく NIV による汚染も問題となる (農林水産省，2017)。

### III 赤かび病の発生生態およびかび毒蓄積様式

赤かび病菌 (*F. graminearum* 種複合体) の主要な一次伝染源は，子のう胞子である (西門，1958；SHANER, 2003)。赤かび病菌は，ムギや稲わら等の植物残渣やイネ科雑草上等で生存し，春，子のう殻中に形成された子のう胞子が，風で飛散してムギの穂に付着し，感染が始まる (西門，1958；小泉ら，1993；SHANER, 2003)。また，降雨による土壌表面からの飛沫で胞子が飛散し穂に達する伝染経路も示されている (PAUL et al., 2004)。子のう殻は，冬季には形成されず，温度が上昇する春季に形成され始めて秋季まで形成されること (西門，1958；SHANER, 2003)，子のう殻の形成および成熟 (子のう胞子形成) は，湿潤な条件で促進されること (西門，1958；DUFALT et al., 2006)，子のう胞子は主に夜間に飛散すること (小泉ら，1993；PAULITZ et al., 1996) が知られる。赤かび病菌 (*F. graminearum* 種複合体) の胞子の発芽には，暖かく湿潤な条件が必要であり，感染の最適条件は，気温 25℃ 前後，湿度 100% とされる (西門，1958；PARRY et al., 1995)。なお，本病は子のう胞子の一次伝染による発生が主体であり，コムギ畑における発病穂の時空間分布解析により，発病穂に形成される分生胞子による二次伝染はもし起こるとしても伝染経路としての寄与度は低く，圃場内の植物残渣上に次々と形成される子のう胞子が，一次伝染源としてコムギの開花期以降長期間にわたり寄与することが示唆されている (大崎ら，2009)。

宿主側の感染条件としては，生育ステージが重要である。コムギにおいては，開花期，あるいは開花期から乳熟期にかけての期間が最も感受性が高く，特にこの時期の降雨は赤かび病の発生を助長する (西門，1958；PARRY et al., 1995；SHANER, 2003)。開花期に感受性が高くなるのには，この時期に，おしべの先端部分の花粉形成器官である「葯」が抽出することが大きく関係している。コムギにおける赤かび病の主要な感染経路は葯からの感染であり，飛散した胞子がかび毒に付き，そこを足場として菌が生育し，穎花内部組織に達し，感染侵入が始まる (西門，1958；BUSHNELL et al., 2003；SHANER, 2003)。

オオムギでは，品種により状況が異なる。コムギは一般に，開花期に葯が抽出する「開花受粉性」であるのに

対し、オオムギには、「開花受粉性」の品種と、開花（受粉）期に穎花が閉じたままで葯が抽出しない「閉花受粉性」の品種がある。現在我が国で栽培されている品種では、六条品種（皮麦・裸麦）はほぼすべて「開花受粉性」である一方、二条品種（大部分が皮麦）はそのほとんどが「閉花受粉性」である。一般に、二条品種は六条品種に比較して赤かび病抵抗性が強いが、少なくとも開花期ころの感染に対する抵抗性には閉花受粉性であることの寄与が大きく（YOSHIDA et al., 2005）、また、六条品種（開花受粉性）と二条品種（閉花受粉性）とでは赤かび病に感受性の高い時期が異なることがわかっている。すなわち、発病とかび毒蓄積のいずれについても、開花受粉性の六条品種はコムギと同様開花期ころに最も感受性が高いのに対し、閉花受粉性の二条オオムギは、開花（受粉）期の10日後ころに、子実の肥大に伴い受粉を終えた葯（葯殻）が穎花の先端から押し出される形で抽出し、この時期に感受性が顕著に高まる（YOSHIDA et al., 2007）。

また、かび毒汚染には登熟がある程度進んだ時期の影響も大きく、オオムギでは、少なくとも皮麦品種においては、開花習性にかかわらず、開花（受粉）20日後ころの感染で、穂や収穫後の穀粒の症状が判然としない場合にも、穀粒中に高濃度のかび毒が蓄積しうる（YOSHIDA et al., 2007）。また、コムギでは、早期に感染した穂でも、開花20日後以降の登熟後半に感染穂内の穀粒中のかび毒蓄積量が大幅に増加すること、また開花20日後ころの感染で、穂の外観病徴が判然としなくても穀粒中にかび毒が蓄積することが示されている（YOSHIDA and NAKAJIMA, 2010）。同じくコムギでは、外観健全粒からもかび毒が検出されることがあるが、近年の北海道の研究（品種は‘ホクシン’を供試）で、その主要因は、赤かび病菌が感染した発病穂内で登熟後期に二次感染した子実において、病徴を示さないままかび毒が蓄積するためであることが示されている（小澤・相馬, 2018）。

#### IV 防除対策・かび毒汚染低減対策

##### 1 薬剤散布

赤かび病の防除およびかび毒汚染防止対策として最も重要なのは、麦の生産段階における適切な薬剤散布である。赤かび病の発病軽減だけでなくかび毒低減にも効果の高い薬剤を選択し、適期に散布することが大事である。チオファネートメチル、テブコナゾール、メトコナゾールが、かび毒低減効果が高い薬剤として選抜され、現在では、これら薬剤の使用が推奨されている。薬剤散布の適期は、麦種別に異なる。これは、前述のように麦種により感受性の高い時期が異なるためである。コムギ

では、開花を始めた時期から開花期までの間が最初の防除適期であり、この時期に正しく散布できたかどうかで防除の成否がほぼ決まる。オオムギでは、二条品種と六条品種で薬剤防除適期が異なり、二条オオムギ（閉花受粉性）では穂揃期（ほぼ開花受粉期に相当）の感染リスクは低く、その後、子実の肥大に伴い葯殻が押し出されてくる「穂揃い10日後ころ」に最も感染リスクが高くなり、この時期（葯殻抽出期）が、二条オオムギの薬剤散布適期となる（YOSHIDA et al., 2008；吉田, 2009）。なお、現在国内で栽培されている二条オオムギ品種の中にごく一部開花受粉性のものがあるが、それらについては未検討である。一方、六条オオムギ（開花受粉性）は、コムギと同じく開花始め～開花期が最初の防除適期である。これらの時期の散布に加えて、地域の気象条件、過去の被害の状況、品種の赤かび病抵抗性等を考慮して、必要に応じて追加の散布を行う。

##### 2 抵抗性品種の利用

各産地において、作付け可能な品種が複数ある場合には、実需者の評価やニーズを勘案したうえで、できるだけ赤かび病抵抗性の強い品種を選択することが推奨される。各都道府県の奨励品種の赤かび病抵抗性程度については、後述する生産工程管理マニュアル（農研機構, 2016）などに評価が示されている。なお赤かび病の発病程度は環境条件により大きく変動し、品種の抵抗性のみでは赤かび病を防ぎきれないため、薬剤散布による防除も必要である。

##### 3 収穫・調製時のかび毒低減対策

防除に失敗し、赤かび病が多発した圃場ではかび毒に高濃度に汚染されている可能性が高いので、仕分け刈りを行うことが望ましい。また、赤かび病菌が感染した麦では倒伏によりかび毒汚染濃度が高くなる傾向があるため（NAKAJIMA et al., 2008）、倒伏させないように肥培管理などに注意するとともに、赤かび病発生圃場で倒伏した場合は、できるだけ倒伏箇所は仕分け刈りを行う。また、収穫が遅れるとかび毒が増加するリスクがあるため、収穫適期に達したら早めに刈り取りし、終了後は直ちに乾燥作業を行う。

なお、収穫した麦のかび毒濃度が高い場合でも、その後の調製によりある程度濃度を下げることが可能である。コムギでは、粒厚選別（篩いによる選別）や比重選別が有効であるほか（中島ら, 2004；相馬, 2015）、光学式選別機（または色彩選別機）の利用によりかび毒濃度を低減することが可能である（Sarro et al., 2009；原・稲野, 2014）。オオムギにおいても、収穫後の粒厚選別がかび毒低減にある程度有効であるが、特に皮麦におい



実施時期	実施すべき取組	低減効果
播種前	前作の作物残渣など伝染源の除去（持出し、すき込み等）	低
	トウモロコシの後作は回避（一部地域のみ）	中
播種	赤かび病抵抗性が高い品種を選択	高
	推奨される栽植密度の順守	低
	作期の前進など登熟・収穫期の雨害の回避（一部地域のみ）	中
生育期	適切な肥培管理などによる倒伏防止	中
出穂期 開花期	かび毒汚染を防止・低減する効果の高い薬剤の選択	高
	開花期予測システムなども活用した適期防除の実施	高
	開花 20 日後までに必要に応じて追加防除の実施	高
	同一系統の薬剤の連用の回避	低
収穫期	適期収穫の徹底	高
	赤かび病被害麦の仕分け収穫の徹底	高
乾燥 調製	収穫後は速やかに乾燥	中
	乾燥調製施設における赤かび病被害麦の仕分けの徹底	高
	粒厚選別や比重選別等による赤かび病被害粒の選別	高

図-5 麦類の生産工程におけるかび毒汚染を防止・低減するために実施すべき取組とその効果  
 「麦類のかび毒汚染低減のための生産工程管理マニュアル改訂版」（農研機構，2016）より  
 （一部加工）。

ては必ずしもその効果は高くないことが想定され（吉田・中島，2017），やはり圃場段階で適切な防除を実施することが重要である。なお，農林水産省による調査報告（農林水産省，2017）では，2015年の調査で，コムギ・オオムギのいずれにおいても調査対象となったすべての乾燥調製施設で粒厚選別が実施され，うち一部ではさらに比重選別や色彩選別が併用されていたと報告されている。また2012～14年のコムギ・オオムギの同一ロットから乾燥調製施設で選別により得られた主食用麦と細麦・屑麦（選別の過程で除去された部分）のかび毒濃度を比較した結果，コムギ・オオムギとも細麦・屑麦中の濃度が有意に高く，実際の生産現場での選別によるかび毒低減効果が認められている（農林水産省，2017）。

4 かび毒汚染低減のための指針および生産工程管理マニュアルについて

以上の対策を含めた「麦類のかび毒汚染低減のための生産工程管理マニュアル」が，農研機構（九州沖縄農業研究センター）において2008年12月に作成・公表され，さらにその後得られた研究知見を追加した改訂版が2016年3月に公表されている（農研機構，2016）。本マニュアルでは，都道府県の研究者および指導者を対象に，麦類の栽培・防除指導のポイントとなる作付け前から播種，防除，収穫，調製等の各生産工程におけるかび毒汚染防止・低減対策等を実施時期ごとにとりまとめた

いる（図-5）。また農林水産省消費安全局・生産局も，2008年12月に「麦類のデオキシニバレノール・ニバレノール汚染低減のための指針」および「指針活用のための技術情報」（2016年6月一部改定）を作成・通知している。これらは現在インターネット上で閲覧可能であり，麦の生産管理にあたっては，これらの情報を参照されたい。

おわりに

赤かび病は日本の麦作において古くから発生する病害であったが，コムギにおけるDONの暫定基準値が設定された2002年以降，全国規模の農林水産省委託プロジェクト研究などにより，各種分野の研究者が連携して精力的に研究を進めてきた。その結果，赤かび病の防除およびかび毒汚染低減対策に役立つ多くの成果が得られ，上記のマニュアルなどに反映されてきた。

本稿では，全国的な赤かび病の主要病原菌でありDON・NIV汚染を引き起こす*F. graminearum*種複合体による赤かび病を中心に記載したが，日本最大のコムギ

\*\*\*\* 現在食品安全委員会ではDONのリスク評価（再評価）が行われており，現行の暫定基準値が見直される方向となっている。なお食品安全委員会のウェブサイト上（[http://www.fsc.go.jp/senmon/kabi\\_shizen/](http://www.fsc.go.jp/senmon/kabi_shizen/)）に，本件を扱っている「かび毒・自然毒等専門調査会」の開催情報，議事録等が随時掲載されている（2019年2月現在）。必要に応じて参考にされたい。

産地である北海道では、先に述べた通り、赤かび病発生への他の菌種の影響も大きく、また秋まきコムギと春まきコムギで発生状況や主要な原因菌種が異なったり、かび毒汚染は起こさないが重要病原である *M. nivale* については効果のある薬剤が異なる等、状況がやや複雑である。北海道における赤かび病の発生や対策に関しては、別文献(木俣, 2014; 相馬, 2015)を併せて参照されたい。なお、かび毒の基準値などについては、今後見直される可能性があるため留意願いたい\*\*\*\*。

#### 引用文献

- 1) BUSHNELL, W. R. et al. (2003): Fusarium Head Blight of Wheat and Barley, APS, St. Paul, MN., p.44~83.
- 2) DFAULT, N. S. et al. (2006): Plant Dis. **90**: 637~644.
- 3) 原 圭祐・稲野一郎 (2014): 農業食料工学会誌 **76**: 92~98.
- 4) 木俣 栄 (2014): 植物防疫 **68**: 690~695.
- 5) 小泉信三ら (1993): 農業研究センター研究報告 **23**: 1~114.
- 6) 小澤 徹・相馬 潤 (2018): 北日本病虫研報 **69**: 29~34.
- 7) 中島 隆ら (2004): 九病虫研会報 **50**: 6~9.
- 8) NAKAJIMA, T. et al. (2008): J. Gen. Plant Pathol. **74**: 289~295.
- 9) 西門義一 (1958): 農業改良技術資料 **97**: 1~162.
- 10) 農研機構 (2016): 麦類のかび毒汚染低減のための生産工程管理マニュアル改訂版, [https://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/files/mugi\\_kabidoku\\_v2\\_man.pdf](https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/mugi_kabidoku_v2_man.pdf)
- 11) 農林水産省 (2017): 国産麦類中のかび毒(フザリウム毒素)の実態調査結果, <http://www.maff.go.jp/j/press/syuan/nouan/attach/pdf/170607-2.pdf>
- 12) 大崎美由紀ら (2009): 日植病報 **75**: 307~313.
- 13) PARRY, D. W. et al. (1995): Plant Pathol. **44**: 207~238.
- 14) PAUL, P. A. et al. (2004): Phytopathology **94**: 1342~1349.
- 15) PAULITZ, T. C. (1996): Plant Dis. **80**: 674~678.
- 16) SAITO, S. et al. (2009): Trans. ASABE. **52**: 859~866.
- 17) SHANER, G. E. (2003): Fusarium Head Blight of Wheat and Barley, APS, St. Paul, MN., p.84~119.
- 18) 相馬 潤 (2015): JSM Mycotoxins **65**: 31~38.
- 19) 須賀晴久 (2006): 日植病報 **72**: 121~134.
- 20) SUGA, H. et al. (2008): Phytopathology **98**: 159~166.
- 21) 食品安全委員会 (2011): 食品安全 **26**: 3~4.
- 22) WEGULO, S. N. et al. (2015): Crop Protection **73**: 100~107.
- 23) 吉田めぐみ (2009): 植物防疫 **63**: 86~89.
- 24) YOSHIDA, M. et al. (2005): Euphytica **141**: 217~227.
- 25) ——— et al. (2007): Phytopathology **97**: 1054~1062.
- 26) ——— et al. (2008): Plant Dis. **92**: 1164~1170.
- 27) ——— and T. NAKAJIMA (2010): Phytopathology **100**: 763~773.
- 28) 吉田めぐみ・中島 隆 (2017): 植物防疫 **71**: 778~784.

植	物	
	防	疫
講	座	

## 虫害編-15

イネシンガレセンチュウの発生生態，  
調査法および防除法

広島県立総合技術研究所農業技術センター ほしの野 しげる 滋

## はじめに

イネシンガレセンチュウ *Aphelenchoides besseyi* Christie (以下、シンガレ) はイネにイネ心枯線虫病を引き起こす線虫である。この線虫がイネに感染すると、イネの分けつ末期から穂ばらみ期ごろに葉の先端の白変という病徴を示す(吉井, 1965)。この症状を「ほたるいもち」と呼ぶ。我が国におけるイネ心枯線虫病は、角田(1915)によって熊本県で初めて発見された。

シンガレは日本以外にも世界の水稻作地帯に広く発生している。アジアではバングラディシュ、インド、インドネシア、フィリピン、スリランカ (FEAKIN, 1970)、ヨーロッパではイタリア、ハンガリー、旧ソビエト連邦 (VUONG, 1969; FEAKIN, 1970; FOURTUNER and WILLIAMS, 1975)、アフリカでは、カメルーン、ケニア、マダガスカル、ナイジェリア、セネガル、シエラレオネを含む20か国 (BARAT et al., 1969; VUONG, 1969)、オセアニアではオーストラリア (FEAKIN, 1970)、北米中米では米国、メキシコ、キューバ、エルサルバドル (TODD and ATKINS, 1958; FEAKIN, 1970) で発生している。

## I 形態

水久保(2006)によると、シンガレ雌成虫の体長は0.57 mm~0.84 mm (平均0.68 mm)、雄成虫は0.53 mm~0.61 mm (平均0.57 mm) である(図-1)。シンガレ雌成虫のa値<sup>注1)</sup>は39~53 (平均47.7)、b値<sup>注2)</sup>は9.2~13.1 (平均11.5)、c値<sup>注3)</sup>は13.8~20.4 (平均17.7)、V値<sup>注4)</sup>は68.7~73.6 (平均71.2) である。雄成虫のa値は40.7~46.9 (平均44.4)、b値は8.9~10.7 (平均9.52)、c値は16~20 (平均18)、T値<sup>注5)</sup>は28~52 (平均40.6) である。唇部形態は唇部側線が張出し、それに続く食道部の体幅より広く、そのため、唇部は食道部からくびれる。口針は大変細く、口針基部の口針節球の発達微小



♀ ♂  
図-1 イネシンガレセンチュウ

である。側帯の幅は体幅の1/4程度である。尾端の形状は細く突き出した突起上に3~4本の刺を生じる。雄の交接刺はバラの刺に似た形で頑丈な構造をしている。

## II 生活環

シンガレには卵、1期幼虫、2期幼虫、3期幼虫、4期幼虫、成虫というステージがある。2期幼虫以降のステージのシンガレが植物に侵入する。

出穂期に穎花に入ったシンガレは、25℃では約10日間の短い世代時間で増殖を繰り返す。胚乳が乾燥するとともに、シンガレも無水状態になり、乾燥状態で成虫または4期幼虫で存在するようになる (HUANG and HUANG, 1972; HUANG et al., 1972; HUANG and CHIANG, 1975; NANDAKUMAR et al., 1975; HOLLIS and KEOBOONRUENG, 1984; 千代西尾・中澤, 1988)。

シンガレのイネ収穫後から翌年の夏までの生存率は高く(深野, 1962)、さらに、種子を3年間保存した後でも、シンガレは高い生存率を維持している (YOSHII and

注1) a 値 体長÷最大体幅。

注2) b 値 体長÷頭端(唇部前縁)から食道腸間弁までの距離。

注3) c 値 体長÷尾長。

注4) V 値 頭端から陰門までの距離の体長に対する百分率。

注5) T 値 精巢全長の体長に対する百分率。

Ecology, Sampling, Extraction Procedures and Control Method of White Tip Nematode *Aphelenchoides besseyi*. By Shigeru HOSHINO (キーワード: イネシンガレセンチュウ, 分離法, 比重選, 防除)

YAMAMOTO, 1950)。種子を5℃前後の低温条件下で保存すると10年以上の生存が可能である(西澤, 1994)。

春に、種子を水に浸漬して、育苗箱に播種すると、シンガレは休眠から覚醒し、種子外に游出し、他の苗に侵入する(田村・気賀沢, 1957; 1958)。通常の肥料条件であれば、葉齢3~4葉期に株間移動率は高い(田村・気賀沢, 1958)。イネ体に侵入したシンガレは生長点付近に生息して増殖し、出穂期に穎花に侵入する(図-2)。

### III 被害

シンガレが感染したイネは、栄養不足に陥り矮化し、穂は小さくなり、1穂粒数が減少する(Ou, 1985)。さらに、シンガレは玄米の粒重増加を抑制して屑米を多くし、一部玄米の腹側に縦または横に割れ目を入れ、その周縁部を黒変させ、黒点米を生じることもある(梶原, 2016)(図-3)。

米国において、TODD and ATKINS (1958)は健全イネと罹病イネの穂を比較し、罹病すると平均穂長は21 cmから15 cmに、穂重は2.5 gから0.7 gに、1穂粒数は98から32に、不稔の穂の割合は16%から37%になると報告した。日本では、イネ心枯線虫病の発生した水田では収量が10%~30%減少すると報告されている(YOSHII and YAMAMOTO, 1950)。

### IV シンガレの調査法

#### 1 調査用サンプル採集

シンガレは穂、株および水田の三つの異なる規模においても種子単位で集中分布をする。「ほたるいもち」多発水田のシンガレ密度を推定するためには、3段抽出法を用いてサンプリングを行う。まず、調査対象の水田を均等に6分割し、分割したそれぞれ1区画の中央から1

株ずつ、計6株を採集する。採集した6株のそれぞれ1株から3穂を抽出し、3穂からそれぞれ20粒ずつの種子を採集する(TOGASHI and HOSHINO, 2010)。ただし、「ほたるいもち」少発生水田の場合、調査精度を高めるためにはより多くのサンプルが必要である。

#### 2 シンガレの1種子からの分離法(星野・富樫の1粒分離法)

これまでのシンガレの種子当たりの個体数調査法では、50粒の種子から穎を外した後それらを浅い水に沈め、游出したシンガレを実体顕微鏡下で計数してきた(上林ら, 1974)。この方法では、種子から穎を外すため、非常に労力がかかった。また、種子を水に浸漬して吸水させ、種子から游出するシンガレをベルマン法で分離していた。このベルマン法は、操作は簡単であるが、シンガレが游出するまでに24時間以上を要した(NANDAKUMAR et al., 1975)。「ほたるいもち」防除のためには、シンガレ個体数の正確な定量が非常に重要である。そこで、種子1粒から簡単にシンガレを分離・定量できる個体数調査法(星野・富樫の1粒分離法とする)が開発された(HOSHINO and TOGASHI, 1999)。

星野・富樫の1粒分離法では、剪定ばさみで種子1粒を縦に2分割し、1 mlのピペットチップ(Quality Scientific Plastics Petaluma社)に入れ(図-4)、6 mlの水を入れたガラス管ビンにこのピペットチップを挿入し、種子を浸漬する。水温を25℃に保ち、全暗黒条件下で4時間浸漬後、ガラス管ビンの水をシラキユース時計皿に移し、種子から游出したシンガレを実体顕微鏡下で計数する。なお、ガラス管ビンからシラキユース時計皿に水を移す前に、チップ上部より息を吹き込み、チップ内に存在するシンガレをガラス管ビン内に排出する。この方法では、種子1粒内のシンガレを短時間で分離でき、生

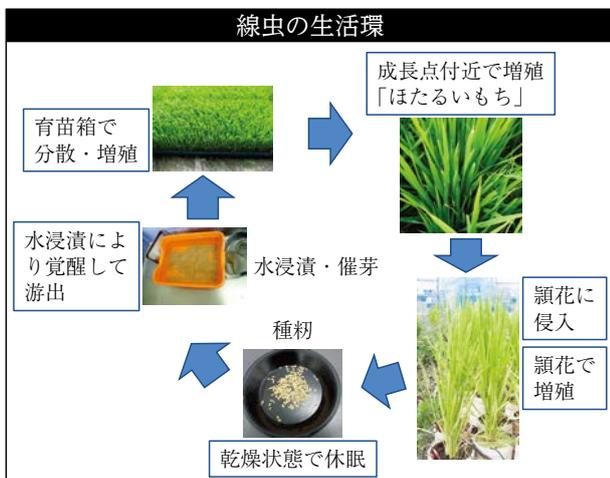


図-2 イネシンガレセンチュウの生活環



図-3 イネシンガレセンチュウによる黒点米

表-1 イネ種子のイネシンガレセンチュウ分離方法の比較

サンプル <sup>a</sup>	調査 <sup>b</sup> 種子 数	分離または観察された生存線虫数 (死亡線虫数)					紙上 <sup>c</sup>	種子内	ピペット または口 ート壁上	合計	分離 <sup>f</sup> 効率
		0-2 時間	2-4 時間	4-8 時間	8-24 時間						
1 種子から分離する方法											
A	67	22(0) <sup>a</sup>	1(0)	0(0)	0(0)	- <sup>d</sup>	0(2)	0(0)	23(2)	0.92	
B1	50	31(1)	0(1)	0(0)	0(0)	-	0(15)	0(0)	31(17)	0.69	
C1	50	28(1)	1(0)	1(0)	0(0)	-	0(21)	0(0)	30(22)	0.60	
D1	50	43(1)	1(1)	0(0)	0(0)	-	0(4)	0(0)	44(6)	0.92	
計	217	124(3)	3(2)	1(0)	0(0)	-	0(42)	0(0)	128(47)	0.76	
ベルマン法											
B2	50	- <sup>e</sup> (-)	-(-)	-(-)	1(0)	0(1)	11(37)	0(1)	12(38)	0.02	
C2	50	-(-)	-(-)	-(-)	1(0)	0(0)	0(36)	0(0)	1(36)	0.03	
D2	50	-(-)	-(-)	-(-)	10(1)	0(0)	1(20)	1(0)	12(21)	0.33	
計	150	-(-)	-(-)	-(-)	12(1)	0(1)	12(93)	1(1)	25(95)	0.11	

<sup>a</sup> 英小文字は異なる水田から採集されたサンプルを示す。  
<sup>b</sup> ベルマン法は 50 種子を 1 バッチとした。  
<sup>c</sup> ベルマン法に用いた紙の調査または種子の分解は分離開始の 24 時間後に行った。  
<sup>d</sup> 未測定。  
<sup>e</sup> 未測定。  
<sup>f</sup> 分離効率は 8-24 時間に分離した線虫数/生存線虫数 + 死亡線虫数で算出した。

(HOSHINO and TOGASHI, 1999 を改変)

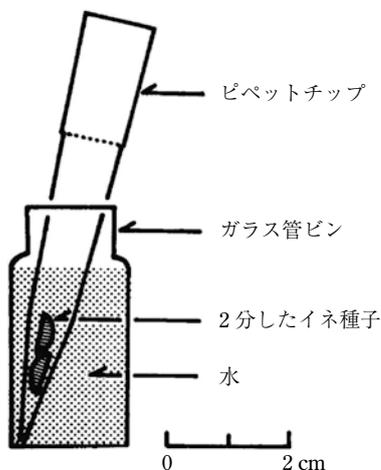


図-4 イネ種子からイネシンガレセンチュウを分離するための簡単な方法 (HOSHINO and TOGASHI, 1999 を改変)

存個体の分離効率は 100%であった。切断した種子の内穎と外穎の内側および玄米をピンセットにより剥がすと死亡個体が見つかるが、分離効率は死亡個体を含めても約 75%と極めて高かった (表-1)。なお、生死の判別は千代西尾・中澤 (1988) に従った。

### 3 シンガレの大量分離法

大量の種子を同時に調査する方法としてベルマン法や千代西尾・中澤の方法 (千代西尾・中澤, 1988) がある。しかし、これらの方法では分離に 24 時間以上かかる。また、千代西尾・中澤の方法では大きな装置を組み立て

る必要がある。シンガレは種子単位で集中分布を示すため、圃場のシンガレ密度が低い場合、感染種子の比率が低く、ほとんどの種子にシンガレは存在しない。このため、低密度時の密度推定には大量の種子を調査する必要がある。しかし、星野・富樫の 1 粒分離法で種子単位に調査すると、多くの時間を要する。そこで、星野・富樫の 1 粒分離法を基に星野・富樫の大量分離法が開発された (HOSHINO and TOGASHI, 2002)。

この大量分離法では、20~150 粒の種子を剪定ばさみで 1 粒ずつ縦に 2 分割し、種子が重ならないようにステンレス製金網トレイ (網目 1.5 mm) の上に置く。針金を用いて、この金網トレイを 350 ml の水が入ったガラス容器 (1,000 ml) の中程に図-5 のようにつり下げて浸漬する。全暗黒条件下で水温を 25℃に保ち、4 時間後に、20 μm の篩 (メッシュ 635) を用いてガラス容器内の水をろ過して、シンガレを分離する。ガラス容器内を水で 3 回洗浄し、篩に注ぎ、シンガレが残らないようにする。洗浄ビンで篩上のシンガレをシラキース時計皿に洗い落としとして実体顕微鏡下で計数する。

この分離法の検出精度を知るため、篩上の種子を取り出し、種子を取り出して分解し、残存するシンガレを計数したところ、種子内の線虫のほとんどを分離できた (表-2)。

表-2 大量分離法または1種子分離法によるイネシンガレセンチュウ分離時の種子当たり生存個体数と死亡個体数の比較

方法	大量分離法				1種子分離
供試種子数	20	50	100	150	20
反復数	6	6	6	6	3
分離線虫数					
生存	2.73 ± 0.34a	1.93 ± 0.66a	2.48 ± 0.87a	2.06 ± 0.54a	2.12 ± 0.52a
死亡	0.35 ± 0.20a	0.25 ± 0.05a	0.63 ± 0.48a	0.55 ± 0.13a	0.36 ± 0.23a
小計	3.08 ± 0.38a	2.18 ± 0.66a	3.11 ± 1.18a	2.61 ± 0.52a	2.48 ± 0.58a
残存線虫数					
生存	0.03 ± 0.03a	0.00 ± 0.00a	0.01 ± 0.01a	0.01 ± 0.02a	0.00 ± 0.00a
死亡	0.00 ± 0.00a	0.01 ± 0.02ab	0.01 ± 0.01ab	0.01 ± 0.02ab	0.17 ± 0.10b
小計	0.03 ± 0.03a	0.01 ± 0.02a	0.01 ± 0.02a	0.03 ± 0.05a	0.17 ± 0.10a
総計	3.10 ± 0.37a	2.19 ± 0.65a	3.11 ± 1.17a	2.64 ± 0.51a	2.65 ± 0.56a

\*平均値 ± S.D. 同じ行で同じ英小文字を有する平均値はKruskal-Wallis検定によって5%有意水準で差がないことを示す。  
(HOSHINO and TOGASHI, 2000 を改変)

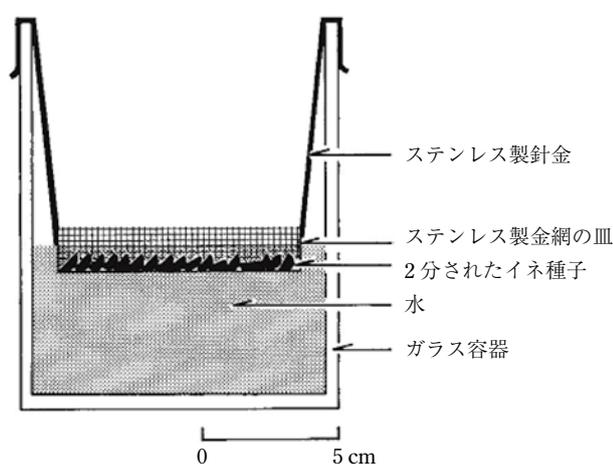


図-5 大量のイネ種子からイネシンガレセンチュウを分離する装置（大量分離法）（HOSHINO and TOGASHI, 2000 を改変）

## V シンガレの防除法

### 1 比重選

水稻農家は、シンガレの汚染種子を除去する目的で塩水選を行っている。しかし、その効果は詳細に研究されていない。そこで、「ほたるいもち」が全株に発病していた水田（品種‘ヒノヒカリ’・以下、感染水田）および発病が認められなかった水田（品種‘ヒノヒカリ’，以下、無感染水田）から採種した種子を水（比重 1.00）または塩水（比重 1.13）による比重選を行い、比重の違いにより比重の小さい種子（比重 1.00 未満の種子；水に浮く種子），中程度の種子（比重 1.00 以上 1.13 未満の種子；水で沈むが塩水で浮く種子），比重の大きい種子（比重 1.13 以上の種子；塩水で沈む種子）の三つのグループに分けた。感染水田におけるイネの種子割合はそれぞれ、33.3%，30.7%および 36.0%，無感染水田のイネの種子

はそれぞれ、9.7%，10.2%および 80.1%で、感染水田では無感染水田に比べ、比重の小さい種子，中程度の種子の割合が高く，大きい種子の割合が低かった（表-3）。

感染水田で採集されたイネの種子の三つの比重のグループから各々 100 粒ずつを星野・富樫の 1 粒分離法を用いて線虫数を調査した。比重の大きい種子でシンガレが存在する割合（寄生率）は，中程度の種子および比重の小さい種子よりも低かった。また，比重の大きい種子のシンガレの生存個体数，死亡個体数，総個体数も少なかった（表-4）。なお，無感染水田イネからは線虫は分離できなかった。

感染水田イネ種子の異なる三つの比重のグループの発芽勢（試験開始 7 日後の発芽率）や発芽するまでの日数を調査した。線虫感染水田イネの種子の比重の大きい種子（100%）および中程度の種子の発芽勢（97.0%）は比重の小さい種子（23.0%）よりも高かった。

また，線虫感染水田イネの種子の比重の大きい種子（7.2 日）および中程度の種子（7.0 日）の発芽までの日数は比重の小さい種子（9.5 日）よりも短かった。さらに，線虫感染水田イネの比重ごとの種子の発芽勢（小さい順に 23.0%，97.0%，100%）と無感染水田イネの比重ごとの種子の発芽勢（小さい順に 26.0%，66.0%，90.0%）を比較すると，線虫感染水田種子の比重の大きい種子および中程度の種子は，無感染水田種子の各々と有意な差があった。

以上のことから，比重の小さい種子はシンガレの寄生率が高いうえに発芽率も低い。また，中程度の種子は，発芽率が高いもののシンガレの寄生率が高い。そのため，シンガレの被害回避のためには，両比重の種子を取り除く必要がある。水稻種子を比重 1.13 で比重選を行

表-3 イネシンガレセンチュウ感染水田と無感染水田の種子の比重の頻度分布

	種子個体数			合計
	小さい (比重 1.00 未満)	中間 (比重 1.00~1.13)	高い (比重 1.13 以上)	
感染水田	300a (33.3%)	276a (30.7%)	324b (36.0%)	900 (100%)
無感染水田	97b (9.7%)	102b (10.2%)	801a (80.1%)	1,000 (100%)

a 各列の英小文字は、二つの種子群（他の二つのグループを合わせたもので二つの感染レベルがある）の2×2分割表によって、二つの水田間で、線虫に感染している水田または感染していない水田から採取された種子の総数の割合が異なる ( $P < 0.001$ )。ボンフェローニ法により有意なレベルが調整された。有意水準は Bonferroni 法によって調整された。

b 線虫感染水田のイネ種子はほたるいもちの症状が出ていた株から採集した種子。

(HOSHINO and TOGASHI, 2009 を改変)

表-4 イネ種子の比重、種子の充実度、イネシンガレセンチュウ寄生種子の割合、種子内の線虫個体数および種子内の死亡率の関係

処理	小さい (比重 1.00 未満)	中間 (比重 1.00~1.13)	大きい (比重 1.13 以上)	p 値
線虫感染水田				
調査種子個体数	100	100	100	
寄生種子の割合 (%) <sup>2)</sup>	69.0a	77.0a	29.0b	< 0.001
種子当たり生存線虫数 <sup>1)</sup>	3.02 ± 4.58a	4.61 ± 5.21a	1.39 ± 3.08b	< 0.001
種子当たり死亡線虫数 <sup>1)</sup>	1.41 ± 2.36a	1.63 ± 2.31a	0.43 ± 1.22b	< 0.001
種子当たり線虫数 <sup>1)</sup>	4.43 ± 5.37a	6.24 ± 5.97a	1.82 ± 3.75b	< 0.001
死亡率 (%) <sup>2)</sup>	31.8a	26.1b	23.6b	< 0.001
線虫無感染水田				
調査種子個体数	50	50	50	
寄生種子の割合	0	0	0	

<sup>1)</sup> 平均値 ± S.D. 各行で同じ英小文字を有する平均値は Kruskal-Wallis 検定によって有意差を示さなかった。

<sup>2)</sup> 各行で同じ英小文字を有する割合または死亡率は 2×3 分割表によって有意差を示さなかった。有意水準は Bonferroni 法によって調整された。

(TOGASHI and HOSHINO, 2009 を改変)

うことでシンガレの寄生率を下げるができる。しかしながら、比重の大きい種子でもシンガレの汚染種子を完全に除去することはできないため、シンガレ防除には塩水選だけでは不十分と考えられた。

## 2 化学的防除

1949 年以降、農薬による化学的防除の検討が行われ、古くは水銀剤などによる種子消毒が検討されていた。低毒性の有機リン剤が開発されたことから、MEP 剤、MPP 剤（現在、登録失効）等の薬液浸漬によるシンガレ防除の検討、農薬登録への動きが加速した（五味ら, 1965）。有機リン剤による種子消毒により、シンガレの遊出数が減少、遊出したシンガレは螺旋状となり運動性が減少することにより、イネ心枯線虫病の発生を抑えると推測されている（藤本, 1971；藤本・山口, 1971）。種子内における死亡率を正確に把握するために、MEP 乳剤、MPP 乳剤の殺虫効果を、星野・富樫の 1 粒分離法を用いて生死別個体数を計測した。その結果、これらの薬剤

の薬液浸漬における籾内での死亡率において、無処理との間に有意な差が認められた（表-5）。

化学的防除法としては、薬液浸漬のほか、種子への吹き付け処理または塗沫処理、種子粉衣、育苗箱施用（粒剤・液剤の散布）、本田散布がある。本田散布は、最高分げつ期以降に「ほたるいもち」が認められる圃場で実施する。薬剤としては、MEP、カルタップ、チオシクラム、金属銀、ベノミル、ベンフラカルブ、カルボスルファン、フィプロニルが現在農薬登録されている。薬剤と防除法の組合せを表-6 に示す。現地に適した剤と防除法を組合せてシンガレの防除を行う。

## 3 その他の防除法

その他の防除法としては、温湯消毒があげられる。60℃の温湯に 10 分間浸漬し、冷水で直ちに冷却する。イネばか苗病などの病害も同時に防除することができる。また、近年、水浸漬後に風乾させることにより、シンガレの生存数を減少させることができることが明らか

表-5 イネシングレセンチュウ感染種子に対する MEP 乳剤，MPP 乳剤殺虫効果，25℃で乾燥したときの死亡率

処理 <sup>a</sup>	生存 個体数 <sup>b</sup>	死亡 個体数 <sup>b</sup>	死亡率 <sup>c</sup> (%)	補正 <sup>d</sup> 死亡率 (%)
MEP 乳剤浸漬後風乾	12(0)	52(2)	81.3a	79.5
MPP 乳剤浸漬後風乾	9(0)	42(8)	82.4a	80.7
無処理	167	16	8.7b	0

<sup>a</sup> イネ種子 100 粒をそれぞれ処理した。25℃恒温全暗条件下で 24 時間浸漬。

<sup>b</sup> ( ) 内は浸漬後に水や薬液に種子から游出した線虫個体数。生存個体数あるいは死亡個体数にその数字を含む。

<sup>c</sup> 死亡率は 4 処理間で 2×4 直交表検定を行った。

列の異なる英小文字は処理区間で 5%水準で有意差あり，5%水準は Fisher 正確確率多重比較による (Bonferroni 法補正)。

<sup>d</sup> ABBOTT (1925) の補正死亡率 = ((無処理の生存率%) - (処理後の生存率%)) / (無処理区の生存率%) × 100 (%) で算出した。

(HOSHINO and TOGASHI, 2002 を改変)

表-6 イネシングレセンチュウに対し農業登録のある薬剤とその使用方法

薬剤名	使用方法
MEP 乳剤	6～72 時間浸漬
	専用の種子消毒機を用いて乾燥種子重量の 3% の量の希釈液を種籾に吹き付け処理または塗沫処理
	育苗箱の上から均一に散布する
	散布 (本田)
カルタップ水溶剤	6～12 時間浸漬，24 時間浸漬
チオシクロラム水和剤	24 時間浸漬
金属銀水和剤	24 時間浸漬
ベノミル水和剤	10 分間種子浸漬
	種子粉衣
ベンフラカルブ粒剤 (単・混合剤)	育苗箱の上から均一に散布する
カルボスルファン粒剤 (単剤)	育苗箱の上から均一に散布する
フィプロニル粒剤 (単・混合剤)	育苗箱の上から均一に散布する

表-7 イネシングレセンチュウ感染種子に対する水浸漬，水浸漬後風乾による効果

種子処理 <sup>a</sup>	生存 個体数 <sup>b</sup>	死亡 個体数 <sup>b</sup>	死亡率 <sup>c</sup> (%)
水区	179(1)	182(0)	50.4a
水・風乾区	51(0)	195(0)	79.3b
風乾区	301	126	29.5c
無処理区	410	136	24.9c

<sup>a</sup> イネ種子 100 粒をそれぞれ処理した。25℃恒温全暗条件下で 24 時間浸漬。

<sup>b</sup> ( ) は水に浸漬中に種子から水中に游出した線虫個体数。生存個体数あるいは死亡個体数にその数字を含む。

<sup>c</sup> 死亡率は 4 処理間で 2×4 直交表検定を行った。

列の異なる英小文字は処理区間で 5%水準で有意差あり，5%水準は Fisher 正確確率多重検定 (Bonferroni 法補正)。

(HOSHINO and TOGASHI, 2002 を改変)

になった(表-7)。感染種子を25℃の水道水で24時間浸漬後, 風乾させた区(水・風乾区)の死亡率が最も高く, 次いで25℃の水道水で24時間浸漬しただけの区(水区)となり, 25℃で48時間風乾した風乾区, 5℃で低温保存を継続した無処理区に比べ有意に高い死亡率を示した。水浸漬処理のみでは完全にシンガレを防除することはできないので, 他の防除法と組合せる必要がある。

### おわりに

種子の中で生存するシンガレは, 人の目にふれることがなく, また, 殺虫剤などの防除がおろそかにされる害虫である。シンガレ防除のために, 比重選を行うことはもとより, 種子消毒後に風乾することで, シンガレ密度は劇的に低下すると考えられる。原種圃, 採種圃や育苗センター等の育苗施設では, さらに, 種子消毒とその後の風乾を組合せてシンガレ密度を低下させた後に残存したシンガレを防除するため, 育苗箱への殺虫剤の施用を行うことを推奨している。近年, 種子消毒を省く生産者も増えており, 本線虫の増加も懸念される。本稿が, シンガレ防除の一助になることを期待する。

### 引用文献

- 1) ABBOTT, W. S. (1925): *Journal of Economic Entomology* **18**: 265~267.
- 2) BARAT, H. et al. (1969): *Technical Communication, Commonwealth Bureau of Helminthology* **40**: 269~273.
- 3) 千代西尾伊彦・中澤 肇 (1988): 鳥取県農試報告 **24**: 1~37.
- 4) FEAKIN, S. D. (1970): *Pest control in rice. PANS Manual* **3**: 99~107.
- 5) FOURTNER, R. and K. J. O. WILLIAMS (1975): *Helminthological Abstracts B* **44**: 1~40.
- 6) 藤本 清 (1971): 応動昆 中国支部会報 **13**: 11~13.
- 7) ————・山口福男 (1971): 兵庫県立農試報告 **19**: 33~38.
- 8) 深野 弘 (1962): 福岡農試特別報告 **18**: 1~108.
- 9) 五味美知男ら (1965): 関東東山病害虫研報 **12**: 99.
- 10) HOLLIS, J. P. and S. KEOBOONRUENG (1984): In: Nickle WR (ed) *Plant insect nematodes*, Marcel Dekker, New York, p.95~146.
- 11) HOSHINO, S. and K. TOGASHI (1999): *Journal of Nematology* **31S**: 641~643.
- 12) ———— (2000): *ibid.* **32**: 303~308.
- 13) ———— (2002): *Japanese Journal of Nematology* **32**: 25~30.
- 14) ———— (2009): *Applied Entomology and Zoology* **44**: 387~396.
- 15) HUANG, C. S. and S. P. HUANG (1972): *Botanical Bulletin of Academia Sinica* **13**: 1~10.
- 16) ———— and Y. C. CHIANG (1975): *Nematologica* **21**: 351~357.
- 17) ———— et al. (1972): *Nematologica* **18**: 432~438.
- 18) 梶原敏宏 (2016): 普通作物病害図説, 養賢堂, 東京, 255 pp.
- 19) 角田鷹次郎 (1915): 病虫害雑誌 **2**: 214~218.
- 20) 水久保隆之 (2006): 線虫の見分け方, 日本植物防疫協会, 東京, 99 pp.
- 21) NANDAKUMAR, C. et al. (1975): *Indian Journal of Nematology* **5**: 62~69.
- 22) 西澤 務 (1994): 土壌線虫の話, タキイ種苗(株)広報出版部, 京都, 117 pp.
- 23) OU, S. H. (1985): *Rice disease, Second Edition*, C·A·B International UK, 380 pp.
- 24) 田村市太郎・気賀沢和夫 (1957): 日本生態学会誌 **7**: 111~114.
- 25) ———— (1958): 同上 **8**: 37~42.
- 26) TODD, E. H. and J. G. ATKINS (1958): *Phytopathology* **48**: 632~637.
- 27) TOGASHI, K. and S. HOSHINO (2010): *Nematology* **12**: 373~380.
- 28) 上林 譲ら (1974): 愛知農総試研報 **A-5**: 63~69.
- 29) VUONG, H. H. (1969): *Nematodes of Tropical Crops, Technical Communication No.40*, St Albans, UK: Commonwealth Bureau of Helminthology, p.274~288.
- 30) YOSHII, H. and S. YAMAMOTO (1950): *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University* **9**: 209~222.
- 31) 吉井 甫 (1965): 日本植物病理学会報告 **31**: 254~260.

植物  
防疫  
講座

虫害編-16

斑点米カメムシ類の生態と防除-1

—カスミカメムシ類—

龍谷大学 農学部 <sup>ひ</sup>樋 <sup>ぐち</sup>口 <sup>ひろ</sup>博 <sup>や</sup>也

はじめに

玄米の表面の一部または全面が着色している粒を着色粒と呼び、着色粒はイネの登熟期に玄米の表面に付着した微生物、あるいは害虫の食害部や吸汁孔から侵入した微生物が繁殖することによって生じる。我が国では、玄米中の着色粒の混入率によって米の等級は異なり、混入率が0.1%をこえると2等米、0.3%をこえると3等米、0.7%をこえると規格外となる。着色粒のなかでも、カメムシ類の吸汁により表面に黒色あるいは茶色の食害痕ができた玄米のことを「斑点米」(図-1)、斑点米被害を引き起こすカメムシを「斑点米カメムシ」と称している。

1970年代に入り、米の品質重視から斑点米被害が浮上し、ホソハリカメムシ *Cletus punctiger*、クモヘリカメムシ *Leptocorisa chinensis*、ミナミアオカメムシ *Nezara viridula* 等、イネの穂を吸汁し斑点米被害を引き起こすカメムシ類が問題となった。しかし、1980年代中ごろ

から、イネよりもイネ以外のイネ科植物を好むカスミカメムシ類が重要視されるようになり、特に2種のカスミカメムシ、アカヒゲホソミドリカスミカメ *Trigonotylus caelestialium* (図-2) とアカスジカスミカメ *Stenotus rubrovittatus* (図-3) の増加傾向が顕著となった。カスミカメムシ類の生態的特徴として、多化性で年に数世代を経過する、牧草地などで繁殖するため農薬の影響を受けにくい、イネへの加害時期により被害症状が異なる、植物体の葉鞘内や穎花内に卵塊で産卵するため天敵の影響を受けにくいこと等が考えられる(林, 1997)。



図-1 斑点米



図-2 アカヒゲホソミドリカスミカメ成虫



図-3 アカスジカスミカメ成虫

Ecology and Management of Rice Leaf Bug, *Trigonotylus caelestialium*, and Sorghum Plant Bug, *Stenotus rubrovittatus*, Causing Pecky Rice. By Hiroya HIGUCHI

(キーワード: アカヒゲホソミドリカスミカメ, アカスジカスミカメ, 斑点米, 生態, フェロモントラップ, 防除要否)

アカヒゲホソミドリカスミカメの成虫は体長が4.5~6.4 mmで、幼虫は5齢を経過し成虫となる。越冬は、イネ科植物に産下された休眠卵で行う。日本のほぼ全土に分布しているが、1970~80年代にかけては北海道のみイネ、コムギの害虫とされていた。1990年代後半に富山県や新潟県で本種による斑点米被害が認められはじめ、1999年には、青森県、秋田県、山形県等北日本の日本海側を中心に斑点米を多発させ甚大な被害をもたらした。

アカスジカスミカメの成虫は体長4.5~5.5 mmで、幼虫は5齢を経過し成虫となる。1950年に本種の加害によりスーダングラスが不稔になることが報告されているが、イネに対して被害をもたらすことはなかった。しかし、1984年以降広島県で本種による斑点米被害が問題となった。1980年代に入り、東北地方でも本種が斑点米被害を発生させ、その斑点米被害は継続している。北陸地域でも2003年ころから本種の急激な分布域の拡大が認められ、北海道道南地方でも生息が確認されている。

ここでは、アカヒゲホソミドリカスミカメとアカスジカスミカメについて、生態と防除に関する知見のいくつかを紹介する。本稿に対して有益な助言をいただいた新潟県農業総合研究所作物研究センター石本万寿広氏に感謝する。

## I 基本的生態

アカヒゲホソミドリカスミカメの年間の発生世代数は、3~5世代である。北海道では休眠卵からふ化した幼虫は5月下旬から休耕田や畦畔に発生し、この越冬世代を含め年3世代である(奥山, 1974)。新潟県では、休眠卵から幼虫がふ化するの4月上旬中であり、年5世代である(佐藤ら, 2009)。寄主植物は、スズメノカタビラ、スズメノテッポウ、イタリアンライグラス、ナガハグサ、コヌカグサ、コムギ、メヒシバ、アキメヒシバ等のイネ科植物であり、成虫、幼虫ともにこれらを餌とする。また、雌は卵塊をイネ科植物の葉鞘や葉舌の内側、あるいは小穂に産下する。

アカスジカスミカメは、広島県では休眠卵に由来する幼虫の発生時期は4月中旬ころで、年4世代を経過する(林, 1986; 林・中沢, 1988)。滋賀県では年4~5世代(重久, 2004 a)、新潟県では4世代(佐藤ら, 2009)、宮城県では3世代(永野ら, 1988)、岩手県では2~4世代(飯村ら, 2004)である。アカヒゲホソミドリカスミカメと同様にイネ科植物を寄主とし、発生は寄主植物が出穂しているときにしか認められず、成虫は出穂した寄主植物間を転々と移動している。雌は寄主植物の小穂内に産卵

を行い、産卵場所としてイネ科植物の小穂だけでなく葉鞘も利用するアカヒゲホソミドリカスミカメとは異なる。また、本種はカヤツリグサ科のイヌホタルイとシズイの小穂にも産卵する(大友ら, 2005; 加進ら, 2009)。

### 1 産卵能力と寿命

アカヒゲホソミドリカスミカメの好適な食草の一つであるコムギ幼苗を使い飼育試験を行った結果、25°C、16時間明期条件下で羽化後の雌雄成虫の平均生存日数はそれぞれ19.9日、21.8日であり、雌当たりの平均総産卵数は107.7卵であった(樋口・高橋, 2003)。また、本種は、発生世代により成虫の生存日数や産卵数に違いがある(樋口・高橋, 2004)。新潟県上越市で、越冬世代、第1世代、第2世代、第3世代の終齢幼虫を採集し、コムギ幼苗を餌とし25°C、16時間明期で飼育し、羽化成虫の生存日数と産卵数を調査した。越冬世代、第1・2世代と比較し、第3世代成虫の生存日数は短く、産卵数も少なくなった。新潟県における第3世代の幼虫期は7月下旬から8月上旬であり、この時期の寄主植物は幼虫の餌としての質が低く、このことにより幼虫の発育が悪くなり、第3世代成虫の短命、産卵能力の低下をまねいたのではないかと考えられる。

アカスジカスミカメについて、25°C条件下で重久(2004 b)は出穂したコムギ苗で、奥谷ら(2009)はイタリアンライグラスの穂で飼育し、雌当たり平均総産卵数は128.7卵、104.4卵、雌の平均生存日数は38.1日、29.4日と報告している。

### 2 移動能力

後藤・樋口(2004)は、宙吊り飛翔法によりアカヒゲホソミドリカスミカメの飛翔能力を測定し(図-4)、成虫は長時間にわたる飛翔行動は示さず生息地内あるいは食草間で短距離飛翔をくり返していると結論している。



図-4 宙吊り飛翔法で飛翔しているアカヒゲホソミドリカスミカメ成虫

小林 (2007) は、本種成虫の平均飛翔速度は 1.04 m/秒と推定し、後藤・樋口 (2004)、菊地ら (2004) の宙吊り飛翔実験の結果から、成虫は 25 m 以下の距離をくり返し移動し、1 時間当たりの推定移動距離は雌で 900 m、雄で 470 m であるとしている。この推定値は一方向のみに飛翔したと仮定した場合であり、野外での実際の移動範囲はもっと小さいと考えられる。永峯 (2003) は、本種が生息している牧草地の刈り取り後、法面や果樹園、水田畦畔、水田における成虫の動態から、成虫は数日で 100 m 程度の移動が可能であるとしている。

小野ら (2007) は、アカスジカスミカメの繁殖場所となっているイタリアンライグラスの牧草地に近接した水田では、100 m 離れた地点まで被害がおよぶとしている。武田 (2016) は、本種雄成虫の平均分散距離の推定値は 134 m であると報告している。

YASUDA et al. (2011) は、アカヒゲホソミドリカスミカメとアカスジカスミカメの水田内密度に影響を与える雑草地の範囲を、それぞれ 300 m 程度、200~300 m 程度であると推定している。

### 3 加害能力

カスミカメムシ類によるイネ籾の吸汁によって玄米に発生する斑紋は、主として玄米の頂部および側部鉤合部に形成される。玄米の特定の位置に斑紋が形成されるのは、カスミカメムシ類は口吻で籾殻を貫通し吸汁することができず、籾頂部の内外穎のわずかな隙間あるいは内穎と外穎の鉤合部の隙間から吸汁していることを示している。アカヒゲホソミドリカスミカメの場合、開花期から乳熟期の籾では頂部鉤合部から吸汁し、籾の登熟にしたがい籾殻の硬化が進むと内穎と外穎の間にある隙間から吸汁する。アカスジカスミカメの場合も、開花後は籾頂部のわずかな隙間から、登熟が進むにつれて内外穎の隙間から吸汁し斑点米を発生させる。さらに、乳熟期の籾では頂部のふ先や芒を口吻で穿孔し吸汁することにより、玄米の頂部に斑紋ができる (竹内・鈴木, 2003)。

カスミカメムシ類の加害の対象となる籾は、鉤合部に隙間のある「割れ籾」であり、割れ籾の発生が多いほど斑点米は多くなる。幼虫であっても、割れ籾があれば十分吸汁が可能であり、斑点米を形成することになる。

カスミカメムシ類の斑点米形成能力は、カメムシの種類、性別や発育ステージ、イネ品種、加害される時期等によって異なる。1 日 1 頭当たりの斑点米形成数についても、試験条件や環境要因で異なり単純に比較することは難しい。アカヒゲホソミドリカスミカメ成虫の放飼試験で求められた 1 日 1 頭当たりの斑点米形成数は、乳熟期~糊熟期で 4 粒 (松崎, 2001)、穂揃期~黄熟期で 0.23

~0.68 粒 (滝田, 2002)、黄熟期で 0.56 粒 (田中・小嶋, 2003)、成熟期で 0.747 粒 (上野, 2004) と様々である。アカスジカスミカメ成虫については、糊熟期で 2~2.5 粒 (林, 1989)、乳熟期~成熟期で 0.02~0.26 粒 (永野, 1990)、乳熟期で 0.56 粒 (田中・小嶋, 2003) という報告がある。

斑点米の発生はコメの品質の問題であり、ミナミアオカメムシのように大型で吸汁量の多い種よりも吸汁回数が多い種や、吸汁により玄米の肥大を阻害せず被害症状のみを発現させる種のほうが重要であり、この点から考えるとカスミカメムシ類は斑点米産出能力の高い種であると考えられる。

## II 水田内での発生消長

石本 (2004) は、新潟県でアカヒゲホソミドリカスミカメの水田内発生消長を、捕虫網によるすくい取り調査で詳細に明らかにしている。6 月中旬~7 月上旬に第 1 世代成虫の侵入による発生が認められ、7 月中旬に減少傾向を示すが、出穂を契機に第 2 世代成虫の侵入数が増加し、その後数日ですみやかに減少する。登熟中期から後期にかけて、出穂後に侵入した雌が産下した卵に由来する幼虫、さらに羽化した新成虫も発生する (図-5)。

斑点米カメムシ類の水田内での発生には品種間差があり、一般に出穂期が早い品種で多くなる。アカヒゲホソミドリカスミカメの成・幼虫の発生量は、出穂期の早い極早生品種で最も多くなり、中生品種は極早生・早生品種と比較すると少なくなる (石本, 2004)。新潟県で、極早生品種‘わせじまん’で出穂期に侵入成虫が多くなるのは、出穂期が早く周囲の水田のイネがまだ出穂していない時期に出穂し、かつ栽培面積も少ないため、周辺のイネ科植物に生息している成虫の侵入が集中するからであると考えられる。また、幼虫の発生数が多くなるのは、そのもととなる卵数も多く、また、餌として重要な割れ

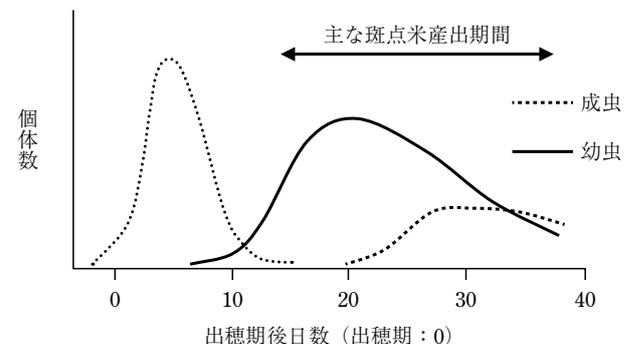


図-5 出穂期以降の水田におけるアカヒゲホソミドリカスミカメの発生消長の模式図 (石本・永瀬, 2005 を改変)

籾の発生が多ければ、幼虫の生存率が高まると考えられる。‘わせじまん’は、割れ籾率が高い品種であることも幼虫の生存率を高めている一因である。

アカスジカスミカメの場合も、イネの出穂と同時に成虫が水田に侵入する。しかし、水田内で次世代幼虫の発生はほとんどないと考えられている（中田，2000；大友ら，2005；片瀬ら，2007）。

### III 管理技術

水田内におけるカスミカメムシ類の密度低減法として、発生源となっている休耕田や畦畔におけるイネ科植物の管理、水田内での薬剤防除が行われている。

#### 1 寄主植物の管理

カスミカメムシ類は、イネよりもその他のイネ科植物に多く寄生し、イネへの依存性が必ずしも高くない。イネ科植物は、水田畦畔、休耕田、畑、農道、道路法面、公園、空き地等いたるところに存在し、カスミカメムシ類の発生源となる。水田畦畔は水田に接しており、そこに繁茂するイネ科植物はカスミカメムシ類の発生源になるとともに、水田へ侵入するための中継地点となり、水田内の斑点米発生に極めて大きい影響を及ぼす（湯浅，2006）。

斑点米被害を引き起こすカメムシ類に対する水田畦畔の雑草管理として、イネの出穂10～15日前までに草刈りを終了し、出穂期以降の草刈りは畦畔に生息するカメムシ類を水田に追い込むことになるので行わないという考え方が一般的である。桑澤・中村（2006）は、アカヒゲホソミドリカスミカメを対象とした場合、出穂の10日前までの畦畔の草刈りは妥当であると考えている。新山・糸山（2006）は、アカヒゲホソミドリカスミカメ第1世代成虫の発生盛期である6月下旬～7月上旬に水田畦畔に除草剤を散布し、イネ科植物を枯死させ本種の生存を不可能にすることで8月上旬の成虫の水田侵入を抑え、斑点米被害を回避できることを報告している。

水田畦畔の草刈りには現在多大な労力がかけられているが、農家の高齢化や生産規模拡大の点から草刈りを徹底することは難しい面もある。水田畦畔にカメムシ類の生息できない被覆植物を導入しイネ科植物の繁茂を抑制する管理法として、カバープランツを植栽する方法も考えられている。滋賀県では、シソ科のアジュガやユリ科のリュウノヒゲを畦畔に植栽した水田ではカメムシ類の発生密度が抑制され、斑点米被害が軽減している（寺本，2003）。アカヒゲホソミドリカスミカメの発生を抑制できるカバープランツとして、シソ科のセイヨウハッカ（ペパーミント）やハナハッカ（オレガノ）があげられ

る（門間・菊地，2004）。水田畦畔のカバープランツの植栽は、田園風景、景観の向上や草刈り作業の省力化等の効果もあり、それぞれの地域に適した草種を選定するとともに、効率的な栽培法の開発が必要である。

アカスジカスミカメについては、水田内雑草の存在が増殖や斑点米被害に関与している。ヒエ類が多発した水田ではイネが出穂する前から本種成虫の侵入が見られ、幼虫の発生も確認され、斑点米率が高くなっている（後藤ら，2000）。また、イネホタルイの発生した水田ではイネの出穂前から本種成虫の発生が、出穂期前後には幼虫の発生も認められ、斑点米率が高くなった（大友ら，2005；加進ら，2009）。これらはイネよりも早く出穂したヒエ類やイヌホタルイに成虫が誘引され水田内の成虫密度が高まり、また、ヒエ類やイヌホタルイの穂に産卵を行い繁殖した結果であると考えられる。したがって、水田畦畔の対策に加え、水田内雑草の防除を徹底することも重要である。

#### 2 殺虫剤による防除

アカヒゲホソミドリカスミカメ成虫は、イネの出穂を契機に水田に侵入し、成虫数は穂揃期に最多となり、その後すみやかに減少する。幼虫は出穂期7日後ころから発生し、出穂期20日後ころに最多となり、このころから成虫の羽化が始まり成虫数が増加する（図-5）。割れ籾は、出穂期10日後ころから発生し、出穂期15日後以降に多くなり、それにとまって斑点米被害も多くなる（石本，2004）。このような成・幼虫の発生推移と斑点米形成過程を考慮すると、防除対策としては、出穂期に水田に侵入する成虫の発生はある程度許容し、次世代幼虫の発生を抑制することが効果的である。

石本・永瀬（2005）は、アカヒゲホソミドリカスミカメによる斑点米被害が甚大で防除の必要性が高い極早生・早生品種について、薬剤散布適期は「出穂期10日後とその10日後の2回」とするのが適当であるとしている。1回目の散布により侵入してきた成虫の密度を低い状態にし、その後の産卵を抑制するとともにふ化している次世代幼虫の密度を低下させ、2回目の散布により1回目散布後にふ化した幼虫の密度を低下させるというものである。

労力、コストならびに環境負荷の低減を指向した取り組みとして、薬剤散布回数を削減する技術も必要とされる。残効が長く、アカヒゲホソミドリカスミカメのふ化幼虫に対して十分な防除効果が期待できる薬剤なら、2回散布の2回目の散布を省略できる。新山・糸山（2004）は、秋田県で出穂10日後ころの1回散布で、橋本（2005）は北海道で、滝田（2007）は山形県で、出穂後7日後こ

ろの1回散布で本種の防除が可能であるとしている。石本(2007)は、出穂期～出穂期10日後の間の1回散布で、防除効果は出穂期以降の2回散布と同等かそれ以上であるとしている。

アカスジカスミカメに対する水田での薬剤散布については、イネの出穂を契機に水田内に飛来侵入する成虫の密度抑制が重要で、穂揃期または穂揃期10日後の1回散布で斑点米率を抑えることができる(鈴木, 2005)。イヌホタルイの出穂が確認される水田では、穂揃期の薬剤散布は効果的であるが(加進, 2009)、1回の防除では斑点米被害を抑えることは難しい場合もあり、除草を徹底するか追加防除を検討する必要がある(横田ら, 2009)。

#### IV フェロモントラップを利用した防除要否の判断

カスミカメムシ科のカメムシは、雌が性フェロモンを放出し雄を誘引する例が知られている。アカヒゲホソミドリカスミカメは、雌が性フェロモンを放出し雄を誘引する(KAKIZAKI and SUGIE, 1997)。ここでは、アカヒゲホソミドリカスミカメについて、合成性フェロモン剤を誘引源としたトラップの誘殺数から防除要否を判断する基準について紹介する。

##### 1 合成性フェロモンを誘引源としたフェロモントラップ

KAKIZAKI and SUGIE (2001) は、アカヒゲホソミドリカス

ミカメ雌の性フェロモンの主な成分 *n*-hexyl *n*-hexanoate, (*E*)-2-hexenyl *n*-hexanoate, *n*-octyl *n*-butyrate を 100 : 40 : 3 の比率で混合した混合物が雄に対して誘引性が高いことを明らかにした。また、樋口ら(2004)は、同じく3成分を 100 : 40 : 3 の比率で混合した合成性フェロモン 0.01 mg をゴムキャップに含浸させたものの雄に対する誘引性は未交尾雌 10 頭と同等であり、野外でその誘引性は1か月間持続することを報告している。



図-6 水田内中央部に設置したフェロモントラップ  
注：白色粘着板(24×30 cm)2枚を背中合わせにした粘着トラップ。  
○：粘着板上辺の中央部にアカヒゲホソミドリカスミカメの合成性フェロモン 0.01 mg を含浸させたゴムキャップを設置。

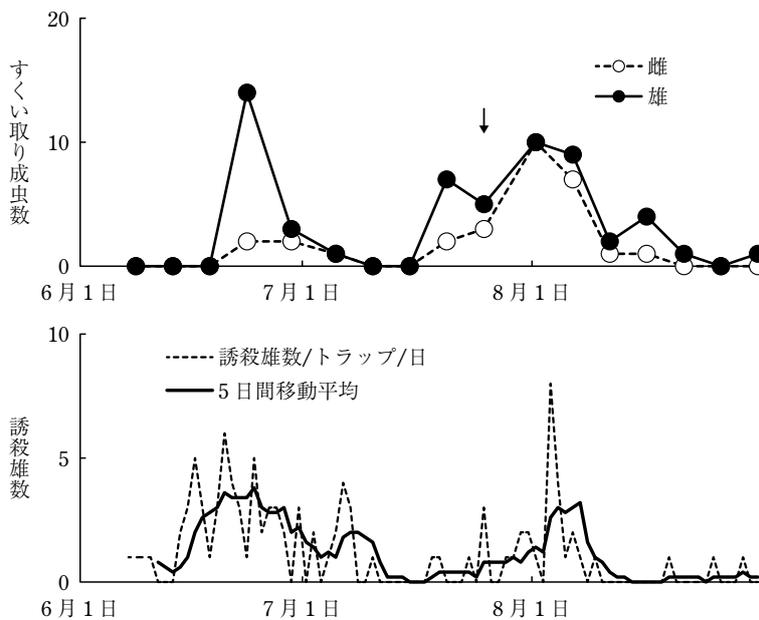


図-7 水田内におけるアカヒゲホソミドリカスミカメのすくい取り成虫数とフェロモントラップに誘殺された雄数の推移(2005年, 新潟県上越市)  
注：品種は‘わせじまん’で、出穂期↓は7月24日。  
すくい取り成虫数は捕虫網40回振りの捕獲数。  
(石本ら, 2006を改変)

アカヒゲホソミドリカスミカメの水田における発生活消長の調査法として、捕虫網によるすくい取りが有効であり、成・幼虫の発生活消長を把握できる(石本, 2004)。石本ら(2006)は、新潟県上越市で、水田内中央部に設置した合成性フェロモン剤を誘引源としたトラップ(図-6)の誘殺消長をすくい取りによる成虫個体数の捕獲消長と比較し、本種成虫の発生活消長把握におけるフェロモントラップの有効性を検討している。水田内に設置したトラップの誘殺雄数の推移は、すくい取り調査での捕獲雄数の推移とよく似たパターンを示し(図-7)、本種のモニタリング手段としてフェロモントラップが有効であることが示された。

## 2 「コシヒカリ」の防除要否の判断

‘わせじまん’のように出穂期が早く割れ粘が多く発生するイネ品種は、アカヒゲホソミドリカスミカメの発生量や割れ粘の発生程度にかかわらず、斑点米被害がであることを想定した防除を行うことが合理的である。しかし、中生品種‘コシヒカリ’のように出穂期が遅く、比較的割れ粘が出にくい品種では、アカヒゲホソミドリカスミカメの発生量に基づいて防除要否を判断することが望ましい。

新潟県において‘コシヒカリ’では斑点米被害が少なく、防除を省略できる水田が多いにもかかわらず慣行的に防除が実施されている。石本(2013)は、殺虫剤が散布されていない‘コシヒカリ’水田で、フェロモントラップの誘殺雄数と斑点米の調査を行い、得られたデータを解析している。91筆の水田で斑点米率が0.1%をこえた事例は1筆だけであった。出穂期後5日間、10日間、15日間におけるそれぞれのフェロモントラップの平均誘殺数は、2.6頭、4.7頭、5.3頭となり、出穂期10日後

以降の誘殺はわずかで、出穂期後5日間の誘殺数は15日間の誘殺数の約50%であった。出穂期後5日間、10日間、15日間、それぞれの誘殺数と斑点米率の間には正の相関があり、調査期間が長くなるほどその関係は明瞭となった。出穂期後5日間の誘殺数と斑点米率の関係は、データのばらつきは大きく、精度は劣るものの、この誘殺数によって斑点米率の予測は可能と考えられる。防除要否の判断に際しては、防除不要と判断したにもかかわらず被害が生じることは避けなければならない。このリスクを最小限にすることを考慮し、斑点米率がほぼ確実に0.1%以下におさまる誘殺数は22頭であった(図-8)。「コシヒカリ」では慣行的に薬剤防除が実施されているが、アカヒゲホソミドリカスミカメが優占種である水田では、その水田に設置したフェロモントラップの出穂期後5日間の誘殺数が22頭以下であれば防除不要であると判断できる。

## おわりに

本報では、斑点米被害を引き起こすカスミカメムシ類2種について、その生態と防除について紹介した。アカヒゲホソミドリカスミカメについては、‘コシヒカリ’を栽培した水田内に設置したフェロモントラップ誘殺数より、その水田の防除要否を判断する基準について述べた。この基準は、必要でない防除は省略できることを可能にするものである。また、フェロモントラップは広域的な発生予察、すなわち地域を単位とした予察にも利用でき(石本, 2012; 2015), 「発生予察の調査実施基準」(農林水産省・安全局植物防疫課)に詳細が示されている。

アカヒゲホソミドリカスミカメが斑点米カメムシの主要種であった北陸・東北地方で、1990年代後半から、

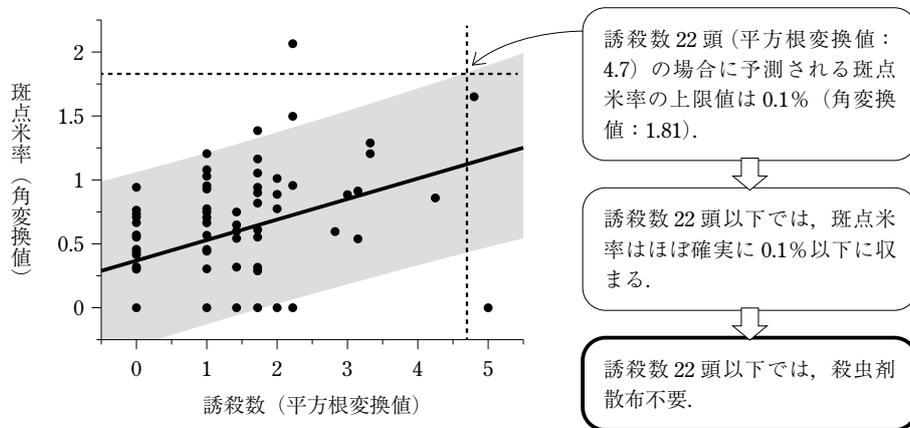


図-8 出穂期後5日間のフェロモントラップ誘殺数からの斑点米率の予測区間  
 注：実線は回帰直線、塗りつぶしは90%予測区間、破線は予測区間の上限が斑点米率1.81(百分率0.1%)となる位置を示す。品種は‘コシヒカリ’。(石本, 2013を改変)

アサスジカスミカメの分布域の拡大、個体数の急激な増加が顕著に見られるようになってきている。これらの地域では、アカヒゲホソミドリカスミカメとアサスジカスミカメは混発しており、今後はこのような発生状況にも応じた防除技術の開発が必要とされる。

なお、本報で紹介したアカヒゲホソミドリカスミカメのフェロモントラップによる試験では、ゴムキャップ剤を使用しているが、現在、アカヒゲホソミドリカスミカメの誘引剤はポリエチレンチューブ剤に変更されている(望月ら, 2012)。このポリエチレンチューブ剤は、ゴムキャップ剤より誘殺数が多くなることがあり、データの取り扱いには注意が必要である。

### 引用文献

- 1) 後藤純子・樋口博也 (2004): 応動昆 48(3): 219~224.
- 2) ———ら (2000): 北日本病虫研報 51: 162~164.
- 3) 橋本庸三 (2005): 同上 56: 96~98.
- 4) 林 英明 (1986): 植物防疫 40(7): 321~326.
- 5) ——— (1989): 広島農試報告 52: 1~8.
- 6) ——— (1997): 植物防疫 51(8): 455~461.
- 7) ———・中沢啓一 (1988): 広島農試報告 51: 45~53.
- 8) 樋口博也・高橋明彦 (2003): 応動昆 47(1): 13~18.
- 9) ———・——— (2004): 北陸病虫研報 53: 25~28.
- 10) ———ら (2004): 応動昆 48(4): 345~347.
- 11) 飯村茂之ら (2004): 北日本病虫研報 55: 117~121.
- 12) 石本万寿広 (2004): 応動昆 48(2): 79~85.
- 13) ——— (2007): 北陸病虫研報 56: 9~15.
- 14) ——— (2012): 植物防疫 66(8): 427~431.
- 15) ——— (2013): 北陸病虫研報 62: 1~5.
- 16) ——— (2015): 応動昆 59(2): 55~61.
- 17) ———・永瀬 淳 (2005): 北陸病虫研報 54: 29~38.
- 18) ———ら (2006): 応動昆 50(4): 311~318.
- 19) KAKIZAKI, M. and H. SUGIE (1997): Appl. Entomol. Zool. 32(4): 648~651.
- 20) ———・——— (2001): J. Chem. Ecol. 27(12): 2447~2458.
- 21) 加進丈二 (2009): 北日本病虫研報 60: 159~162.
- 22) ———ら (2009): 応動昆 53(1): 7~12.
- 23) 片瀬雅彦ら (2007): 関東病虫研報 54: 99~104.
- 24) 菊地淳志ら (2004): 北日本病虫研報 55: 140~142.
- 25) 小林徹也 (2007): 同上 58: 96~98.
- 26) 桑澤久仁厚・中村寛志 (2006): 信州大学農学部 AFC 報告 4: 57~63.
- 27) 松崎卓志 (2001): 植物防疫 55(10): 451~454.
- 28) 望月文昭ら (2012): 同上 66(3): 150~155.
- 29) 門間由美子・菊地淳志 (2004): 北日本病虫研報 55: 128~130.
- 30) 永峯淳一 (2003): 同上 54: 105~109.
- 31) 永野敏光 (1990): 同上 41: 125~126.
- 32) ———ら (1988): 同上 39: 167~169.
- 33) 中田 健 (2000): 植物防疫 54(8): 316~321.
- 34) 新山徳光・糸山 享 (2004): 北日本病虫研報 55: 131~133.
- 35) ———・——— (2006): 同上 57: 129~133.
- 36) 大友令史ら (2005): 同上 56: 105~107.
- 37) 奥谷恭代ら (2009): 応動昆 53(1): 13~20.
- 38) 奥山七郎 (1974): 北日本病虫研報 25: 53.
- 39) 小野 亨ら (2007): 同上 58: 75~79.
- 40) 佐藤秀明ら (2009): 北陸病害虫報 58: 7~12.
- 41) 重久真至 (2004 a): 関西病虫研報 46: 77~78.
- 42) ——— (2004 b): 滋賀農総七農試研報 44: 7~12.
- 43) 鈴木敏男 (2005): 北日本病虫研報 56: 102~104.
- 44) 武田 藍 (2016): 千葉農林総研特報 7: 55~99.
- 45) 竹内博昭・鈴木芳人 (2003): 関東病虫研報 50: 123~126.
- 46) 滝田雅美 (2002): 北日本病虫研報 53: 173~175.
- 47) ——— (2007): 山形農事研報 39: 55~67.
- 48) 田中 豊・小嶋俊彦 (2003): 滋賀農総七農試研報 43: 98~107.
- 49) 寺本憲之 (2003): 同上 43: 47~70.
- 50) 上野 清 (2004): 山形農事研報 37: 53~78.
- 51) YASUDA, M. et al. (2011): Appl. Entomol. Zool. 46(4): 519~525.
- 52) 横田 啓ら (2009): 北日本病虫研報 60: 155~158.
- 53) 湯浅和宏 (2006): 植物防疫 60(5): 211~214.

## 農林水産省プレスリリース (2019.3.8~2019.4.5)

農林水産省プレスリリースから、病害虫関連の情報を紹介します。

<http://www.maff.go.jp/j/press> の後にそれぞれ該当のアドレスを追加してご覧下さい。

◆ 「農業資材審議会農薬分科会 (第 19 回)」の開催及び一般傍聴について (19/3/8) /syouan/nouyaku/190308.html

◆ 「第 8 回ジャガイモシロシストセンチュウ対策検討会議」の開催について (19/3/18) /syouan/syokubo/190318.html

植物  
防疫  
講座

農薬編-17

プロトン勾配を攪乱する酸化脱共役殺虫剤

—ピロール系—

BASF ジャパン株式会社 ぐんじま郡嶋 こうし浩志・たけだ竹田 はるか遼・かとう加藤 よしあき良晃・せこ瀬古 たかし隆司

はじめに

これまで数多くの農薬が開発され、その作用機構も多岐に渡っている。農薬の作用機構解明は、作用性に適した処理方法や抵抗性発達の回避等を考慮するうえで、農薬研究開発プロセスの重要項目の一つである。

Crop Life International 傘下の殺虫剤抵抗性対策委員会 (Insecticide Resistance Action Committee = IRAC) が公開している作用機作による分類中、グループ13は「プロトン勾配を攪乱する酸化脱共役剤 (以下、

アンカップラー)」と呼ばれ、現在、ピロール系化合物のクロルフェナピル、ジニトロフェノール系の DNOC およびスルフルラミドの3剤がこのグループに分類されている (表-1, 農薬工業会, 2018)。因みに殺菌剤では、フルアジナムがアンカップラーとして FRAC コード 29 (C5) に分類されており、殺菌作用と殺ダニ作用のあることが知られている。(図-1)。

アンカップラーは、プロトンフォア (陽子を生体膜の脂質二重層を通過・移動させることを可能にする物質) であることで、脱共役反応を引き起こす。この結果、ミ

表-1 IRAC の作用機構分類 (一部抜粋, 改変)

主要グループと一次作用部位	サブグループ あるいは代表的有効成分	有効成分	農薬名 (例) (剤型省略)	標的生理機能
13 プロトン勾配を攪乱する酸化脱共役剤	ピロール ジニトロフェノール スルフルラミド	クロルフェナピル DNOC スルフルラミド	コテツ (農業用), ステルス (シロアリ防除用) 農業用販売なし 農業用販売なし	エネルギー代謝

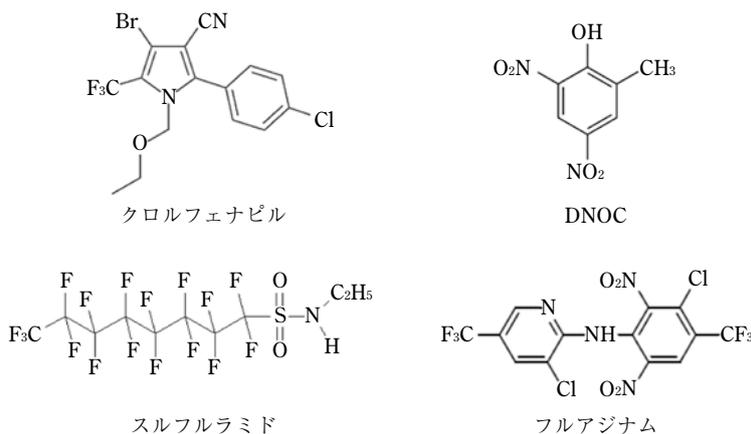


図-1 酸化脱共役剤 (アンカップラー) の化学構造

Review of Uncoupler Insecticides of Oxidative Phosphorylation via Disruption of Proton Gradient (IRAC Group 13). By Koshi GUNJIMA, Haruka TAKEDA, Yoshiaki KATO and Takashi SEKO

(キーワード: 酸化脱共役剤, アンカップラー, クロルフェナピル, ピロール, 作用機構, 作用経路, 殺虫剤, 殺ダニ剤)

トコンドリア内のプロトン勾配を攪乱させることでATP合成を阻害し、殺虫または殺ダニ活性を発現することが知られている。

殺虫・殺ダニ剤または除草剤として使用されていたDNOCを有効成分としていた農薬は、1975年に殺虫・殺ダニ剤として、1976年に除草剤として国内での登録が失効され、EUおよび米国では、それぞれ1999年、1991年に使用禁止となっている。またスルフルラミドは、アリ、シロアリ、ゴキブリ、ハチ等に活性があるが、農業用としての使用はない。現在、農業用として国内で販売されているグループ13の化合物が、クロルフェナピル（商品名：コテツ®）のみであることから、本稿ではこの剤について紹介する。

I 開発の経緯

微生物化学研究所（現公益財団法人 微生物化学研究会）、明治製菓（現 Meiji Seika ファルマ）および東京大学の共同研究において、土壌微生物からの抗生物質探索研究中に放線菌である *Streptomyces* sp. からジオキサピロロマイシン（図-2）を単離した（NAKAMURA et al., 1987）。

また、アメリカンサイアナミド社も抗生物質探索研究中、オクラホマ州の土壌から採取した放線菌 *Streptomyces fumanus* (Sveshnikova) から、ジオキサピロロマイシンを単離した。その後同社は、このジオキサピロロマイシンが農薬として十分な活性レベルではなかったが、殺虫・殺ダニ活性を有することを発見した。1985年から、この化合物をリードとしてピロール系殺虫剤の

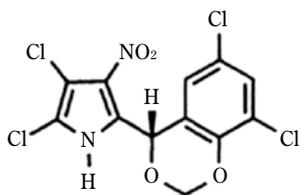


図-2 ジオキサピロロマイシン

探索を開始し、1988年にクロルフェナピルを最終選抜した（CARTER et al., 1987；TREACY et al., 1994）。

日本では、三菱化学(株)（現日本農薬(株)）が1991年から日本植物防疫協会を通じて全国の試験研究機関において、MK-242の試験コード番号で効果試験を開始し、1996年4月に商品名コテツ®フロアブルの登録を取得した。現在ではBASF ジャパン株式会社が権利を有している。農業分野以外では、同社がシロアリ防除薬剤（商品名ステルス®SC）として販売している。

II 作用機構

細胞呼吸は、生物の標準的エネルギー生産過程であるが、昆虫やダニにおいても細胞レベルで栄養物質はエネルギーに変換される。腸内酵素は取り込んだ食物を糖、アミノ酸、脂質等に分解する。これらは生体の構成成分として使用されるか、細胞呼吸の呼吸鎖に取り込まれてミトコンドリア内でエネルギー（ATP）生産に使われる。

ミトコンドリアは外膜によって覆われ、その内側には、陥入した（折り畳まれた）内膜が存在する。内膜内部には電子輸送連鎖システムが存在し、ATPの生成を担っている。陽子（プロトン）は複合体I、IIIおよびIV（プロトンポンプ）を介して内膜間腔側のスペースに送り込まれる。内膜間腔側とマトリックス側の陽子濃度勾配は、ADPからATPへの生成を促進する（図-3、図の右端の部分除く）。

アンカップラー（UNC）は、生物の酸化的リン酸化において、電子伝達系およびATP合成反応のいずれをも阻害せずに両反応の共役を阻害する。プロトンフォアであるアンカップラーが投与されると、陽子（水素イオン）がATP合成酵素を通らずに膜を通して漏れ、電子伝達反応は進行してもATPは合成されなくなり、脱共役が発生する（図-3、図の右端の部分）。

クロルフェナピルは、mfo（mixed-function oxidase, チトクローム P-450）によって昆虫体内で脱エトキシメ



図-3 細胞、ミトコンドリア、細胞内呼吸連鎖および脱共役剤の作用の模式図

チル化されることにより活性本体に変化するプロドラッグである (図-4)。脱エトキシメチル体を葉面浸漬法で、ナミハダニ成・幼虫、オオタバコガ幼虫、サザンアーミーワーム *Spodoptera eridania* 幼虫に処理すると、クロルフェナピル同様、高い殺虫・殺ダニ活性が現れることが確認されている (TREACY et al., 1994)。

一般的にアンカップラーであるためには、親油性 (ミトコンドリアの膜を通過することができる) および弱酸 (水素イオンを解離できる) でなければならない。クロルフェナピルは、脂溶性の高い化合物であるが、pH2.4~11.0の範囲にわたってLogPが約4.6であると計算されたが、弱酸でないことから脱共役剤の性質に適さない。しかし、脱エトキシメチル体のLogPはpH7.0で3.5、pH2.4で4.4であった。つまり脱エトキシメチル体は脂溶性であり且つ弱酸であることから、アンカップラーに必要な性質を有している (BLACK et al., 1994 ; TREACY et al., 1994)。

クロルフェナピルを昆虫の培養細胞や分離されたミト

コンドリアに直接投与しても呼吸阻害効果は不十分で、脱エトキシメチル体を投与すると高い活性が現れる。さらに *in vivo* の試験例として、コロラドハムシ *Leptinotarsa decemlineata* 成虫を用いたバレイシヨの葉面浸漬法では、クロルフェナピル 10 ppm は 100% の死亡率を引き起こしたのに対して、10 ppm に mfo 阻害剤であるピペロニルブトキサイド (PBO) 100 ppm の添加では8%の死亡率しか誘発しなかった。これらの事実、脱エトキシメチル基の酸化的代謝による活性ピロール分子遊離が必要であり、クロルフェナピルがプロドラッグであることを示唆している (BLACK et al., 1994 ; TREACY et al., 1994)。

図-5に脱エトキシメチル体による、脱共役作用の模式図を示した。昆虫体内で mfo により活性化された活性本体は、細胞内のミトコンドリア内膜に侵入し、ミトコンドリア内膜部分に到達すると、陽子がATP合成酵素を通らずに膜を通してマトリックス側に漏れ、電子伝達反応は進行してもATPは合成されなくなる。つまり

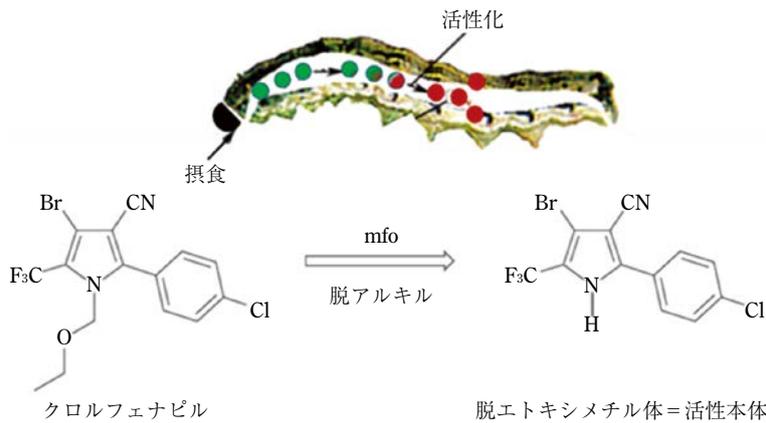


図-4 クロルフェナピルの mfo による活性化

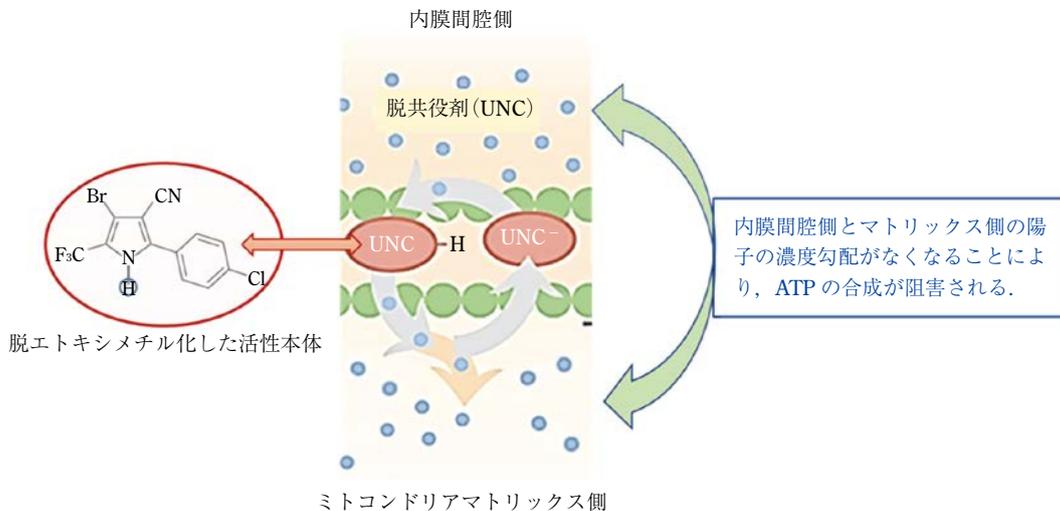


図-5 クロルフェナピル脱エトキシメチル体による脱共役作用の模式図

内膜間腔側とマトリックス側の陽子の濃度勾配がなくなることによりこの攪乱が発生し、ATPを使い切ると殺虫・殺ダニ効果が発現される。因みにクロルフェナピルのこの代謝活性化は、動物や植物に比べて、昆虫の体内では進みやすいことが知られている。

### III 作用特性

#### 1 殺虫・殺ダニスペクトラム

クロルフェナピルの殺虫・殺ダニスペクトラムは、この剤の作用機構から推察される通り、チョウ目、アザミウマ目、ダニ目、カメムシ目、コウチュウ目、ハエ目、ゴキブリ目等、広範囲のグループに効果を示す。

#### 2 作用経路

体内に取り込まれたクロルフェナピルが殺虫・殺ダニ作用を発揮するためには、mfoの存在する組織、例えば、中腸や脂肪体に到達し活性本体である脱エトキシメチル体に代謝される必要がある。以下、本剤の体内への取り込み経路についてまとめた。

##### (1) 植物根部からの移行性

クロルフェナピルの物理化学特性（表-2、農薬抄録のデータ抜粋）から、本剤が水に溶けて、植物の根から維管束を介して移動するとは考えられない。さらに蒸気圧も低いためガス効果による作用も考えづらい。実際ポット植えのピーマンに寄生する米国でのウエスタンポテトリーフホッパー *Empoasca abrupta* における灌注試験では、効果が不十分であったことが報告されている (TREACY et al., 1994)。

##### (2) 経口毒性と経皮毒性

咀嚼性害虫であるコナガの3齢幼虫に対する葉片浸漬法と虫体浸漬法による殺虫効果比較では、葉片浸漬法によるLC<sub>50</sub>値 (2.1 ppm) は、虫体浸漬法のLC<sub>50</sub>値 (62.4 ppm) よりも、小さかったことが報告されている (高城, 2015)。

##### (3) 葉表から葉裏への浸達性

ライマメやインゲンマメ等の作物では、葉表の薬剤散布が葉裏に寄生するナミハダニに対して殺ダニ効果を発

現することが報告されている (TREACY et al., 1994; 高城, 2015)。

以上まとめると、経皮処理による効果はある程度認められるものの、クロルフェナピルの効果発現に必要な取り込み経路は主に経口である。咀嚼口器を持つ、チョウ目害虫、コウチュウ目害虫は、薬剤の処理面をそのまま摂取するため効果が現れやすい。さらにクロルフェナピルの吸汁性害虫 (ダニ目を含む) に対する効果は、葉肉組織を摂食する種 (mesophyll feeder)、例えばアザミウマ目、ダニ目に対しての効果が高い傾向にあり、維管束内、特に篩管液を吸汁する種 (phloem-sap feeder)、例えばアブラムシ類、コナジラミ類に対して相対的に活性が劣る傾向がある。例えばクロルフェナピルはモモアカアブラムシに対して効果不十分のため、適用登録がない。しかし、シヨ糖液を介してクロルフェナピルを強制的に経口投与する (パラフィルム法) では、10 ppm で殺虫効果が現れた (表-3)。実用場面では、その物理化学的性状から篩管液中にクロルフェナピルが十分量移行するとは考えられない。効果の発現には取り込み経路が重要な要因である。

#### 3 殺虫スピードと中毒症状

クロルフェナピルによる害虫の中毒症状は、例えばハスモンヨトウ幼虫では、緩慢動作、吐液・下痢による体長の縮小、最終的に体色黒化の症状が現れる (図-6)。効果の完了までには、おおよそ24時間程度を要する。クロルフェナピルはmfoによって活性化されるプロセスが必要であるため、ノックダウン効果のような即効的中毒症状は現れない。

### IV 抵抗性

#### 1 抵抗性事例

クロルフェナピルは多くの国で使用されているが、これまで標的部位に由来する抵抗性は報告されていない。さらに言えば、クロルフェナピルの脱エトキシメチル体のようなアンカップラーは、レセプターに結合して活性

表-2 クロルフェナピルの物理化学特性 (一部抜粋, 表作成)

項目	クロルフェナピル
溶解度	
水	0.12 mg/l (25°C)
アセトン	1,140 g/l (25°C)
分配係数 (logPow)	4.83 (25°C)
蒸気圧	< 1.33 × 10 <sup>-5</sup> Pa (25°C)

表-3 モモアカアブラムシに対する効果 (死虫率)

濃度	キャベツ葉リーフディスク 散布法*	パラフィルム法**
100	100%	100%
10	0%	100%
1	0%	0%

\*: 成・幼虫対象, 処理5日後に調査.

\*\* : 成・幼虫対象, 処理3日後に調査.

2019年 BASF ジャパン (株)



無処理

クロルフェナピル 50 ppm 処理区  
(嘔吐, 下痢)クロルフェナピル 50 ppm 処理区  
(体長萎縮, 黒化)

図-6 クロルフェナピル処理によるハスモンヨトウの中毒症状

を示す化合物ではないため、標的部位の非適合性で抵抗性が生じるとは考えづらい。感受性低下が起こるとすれば、代謝によるクロルフェナピルの解毒化、さらには標的部位に到達できない何らかの回避機構が働いている可能性がある。1914年からミシガン州立大学が公開している節足動物における薬剤抵抗性事例のデータベース、The Arthropod Pesticide Resistance Databaseによると、クロルフェナピルの事例としてコナガやナミハダニ、カの仲間等での感受性低下事例が報告されているが、標的部位での感受性低下の報告はない (Michigan State University, 2019)。

以下のような代謝に起因する感受性低下の報告事例がある。クロルフェナピルで室内淘汰し得られた感受性低下ナミハダニに、*mfo* 阻害剤であるピペロニルブトキシド (PBO) とグルタチオン S 転移酵素の阻害剤であるマレイン酸ジエチル (DEM) を処理しても殺ダニ活性に協力作用は認められなかった。しかし、エステラーゼ阻害剤である S,S-トリブチル=ホスホロトリチオアート (DEF) 投与により協力作用が認められたため、感受性低下の要因にエステラーゼが関与していることが示唆され、さらに複数の遺伝子の関与が報告されている (Van LEEUWEN et al., 2004)。また、ワタの害虫であるワタミトガリナガカメムシ *Oxycarenus hyalinipennis* をクロルフェナピルで室内淘汰し、得られた感受性低下個体群に対して PBO 投与すると協力作用は認められなかったが、DEF 投与で、感受性システムのレベルまでは活性回復は認められないものの、協力作用のあったことが報告されている (ULLAH et al., 2016)。有機リン剤や合成ピレスロイド剤の長期使用により抵抗性を発達させた果樹害虫のハスオビハマキ *Choristoneura rosaceana* の報告では、この系統が、テブフェノジド、インドキサカルブおよびクロルフェナピルにも複合抵抗性を示し、クロル

フェナピルでは、DEF による協力作用は認められず、PBO および DEM 投与によりある程度の協力作用が認められている (AHMAD and HOLLINGWORTH, 2004)。

さらにクロルフェナピルの交差抵抗性事例として、一部のナミハダニ個体群において、クロルフェナピルとエトキサゾールの交差抵抗性の例が挙げられる。両剤の作用機作は全く異なっているが、抵抗性遺伝子は、同一染色体上で連鎖していることが報告されている (UESUGI et al., 2002)。作用機作の異なる薬剤で交差抵抗性が認められたことから、抵抗性の原因は代謝解毒によるものと推察された。

以上、クロルフェナピルの抵抗性研究から、感受性低下の原因として主に代謝が関与していると考えられるが、その仕組みは多様である。

## 2 負の交差抵抗性事例

感受性の低下の報告事例がある一方、プロドラッグであるクロルフェナピルの作用機構から生じたであろうと思われる負の交差抵抗性現象が報告されている。既述の通り、クロルフェナピルの活性本体は *mfo* により活性化される脱エトキシメチル体であるため、*mfo* の代謝活性増大により、ある化合物の感受性低下が生じた場合、クロルフェナピルの活性が増大することがある。この事例として、シアノ置換型ピレスロイドのサイパーメトリン抵抗性のオオタバコガ *Heliotis virescens* や同じくサイパーメトリン抵抗性ノサシバエ *Haematobia irritans* に対して負の交差抵抗性を示した事例が報告されている (PIMPRALE et al., 1997; SHEPPARD and JOYCE, 1998)。

さらにナミハダニ *Tetranychus urticae* をクロルフェナピルで淘汰したところ、クロルフェナピル低感受性個体群はエトキサゾール、アバメクチン、プロバルギットに交差耐性が認められたが、スピロメシフェンはクロルフェナピル抵抗性系統に対して感受性系統よりも高い殺ダ

ニ活性を示したことが報告されている (NICASTRO et al., 2013)。

### おわりに

日本植物防疫協会の新農薬実用化試験や特許申請の状況から、現在でも数多くの新規殺虫剤や殺ダニ剤が研究開発されていることが読み取ることができる。既存の作用機構を持つ化合物の類縁化合物の探索や、未だ作用機構が解明されていない化合物の登場も見受けられ、農薬メーカーは精力的に新剤の研究開発に鎬を削っている。上市されてから久しいクロルフェナピルのようなアンカッパーは、この中には見受けられない。クロルフェナピルのような特異的な作用機構を有する剤は、害虫の抵抗性発達回避の観点から、ローテーション防除での一剤、または他殺虫剤または殺ダニ剤との混用相手の候補として貴重な存在である。今後も適正な使用を遵守することで、作物の生産、品質向上、作業の省力化に貢献できるものと考えられる。

### 引用文献

- 1) AHMAD, M. and M. HOLLINGWORTH (2004) : Pest Management Science **60** : 465~473.
- 2) BLACK, B. C. et al. (1994) : Pesticide Biochemistry and Physiology **50** : 115~128.
- 3) CARTER, G. T. et al. (1987) : Journal of Antibiotics **40** : 233~236.
- 4) Michigan State University (2019) : The Arthropod Pesticide Resistance Database, <https://www.pesticideresistance.org/search.php>
- 5) NAKAMURA, H. et al. (1987) : Journal of Antibiotics **40** : 899~903.
- 6) NICASTRO, R. L. et al. (2013) : Phytoparasitica **41** : 503~513.
- 7) 農薬工業会 (2018) : 殺虫剤の作用機構分類 (IRACによる), [http://www.jcpa.or.jp/labo/pdf/2018/mechanism\\_irac02.pdf](http://www.jcpa.or.jp/labo/pdf/2018/mechanism_irac02.pdf)
- 8) PIMPRALE, S. S. et al. (1997) : Journal of Economic Entomology **90** : 49~54.
- 9) SHEPPARD, D. C. and J. A. JOYCE (1998) : Journal of Economic Entomology **91** (2) : 398~400.
- 10) 高城圭子 (2015) : 農薬時代 **196** : 27~36.
- 11) TREACY, M. et al. (1994) : Biochemical Society Transactions **22** : 244~247.
- 12) UESUGI, R. et al. (2002) : Journal of Economic Entomology **95** : 1267~1274.
- 13) ULLAH, S. et al. (2016) : Pesticide Biochemistry and Physiology **133** : 91~96.
- 14) Van LEEUWEN, T. et al. (2004) : Experimental and Applied Acarology **32** : 249~261.



## 発生予察情報・特殊報 (2019.3.1~3.31)

各都道府県から発表された病害虫発生予察情報のうち、特殊報のみ紹介。発生物種：発生病害虫 (発表都道府県) 発表月日。都道府県名の後の「初」は当該都道府県で初発生の病害虫。

※詳しくは各県病害虫防除所のホームページまたは JPP-NET (<http://web1.jpnn.ne.jp/>) でご確認ください。

- アスパラガス：ヒメキボシカスミカメ (秋田県：初) 3/7
- ネギ：ネギハモグリバエ (別系統) (京都府) 3/13
- アボカド：キイロワタフキカイガラムシ, マツウラコナカイガラムシ, ヤシシロマルカイガラムシ (鹿児島県：初) 3/14
- 洋ラン (デンドロビウム)：チャノキイロアザミウマ (在来系統) (山口県：初) 3/18
- ブラックベリー：ムナブトヒメスカシバ (山口県：初) 3/18
- イチゴ：チバクロバナネキノコバエ (鹿児島県：初) 3/26

## 農薬工業会が提供する「RACコード」 情報について

農薬工業会

RACコードとは“農薬の作用機構分類”の分類コードを示す。「RACコード」は日本固有の呼称であって、海外では「MoA (Mode of Action)」と称し、日本での農薬製品へのRACコード掲載について、海外では「MoA Labelling」と称している。RACは“Resistance Action Committee”の略称で“抵抗性(耐性)対策委員会”と訳されている。殺虫剤、殺菌剤、除草剤のそれぞれに Insecticide Resistance Action Committee (IRAC), Fungicide Resistance Action Committee (FRAC), Herbicide Resistance Action Committee (HRAC)がある。IRAC, FRAC, HRACは農薬工業会が所属する国際団体 CropLife International の下部組織で農薬会社から選出された専門家によって構成される。IRAC, FRAC, HRACはその成り立ちから独自に活動しているため、IRACコード、FRACコード、HRACコードの表記方法には統一性がない。そのためIRACコード、FRACコード、HRACコードの中には同じ記号や番号が使われている例があるので注意が必要である。

農薬工業会では、IRAC, FRAC, HRACが定めたそれぞれの農薬の作用機構分類和訳版(①)を2013年から

ホームページに掲載している。この農薬の作用機構分類では分類コード表だけの掲載ではなく、分類コードの適切な利用法などを解説している。また、海外では登録があるが、国内で未登録の農薬も含まれている。そのため分類表には商品名の記載がなく、有効成分名の表示だけである。農薬の作用機構分類は年に1回程度改訂されるので、それに合わせて和訳版も改訂している。

<https://www.jcpa.or.jp/labo/mechanism.html>

一方、国内で登録のある殺虫剤と殺菌剤だけを抜粋し、あわせて国内の主要製品の商品名を掲載した表裏2頁の簡易版(通称、下敷き版)(②)を希望に応じて配布するとともにホームページに掲載している。こちらもIRAC, FRACでの改訂にあわせて改訂している。

①の農薬の作用機構分類も②の簡易版もRACコードに属する有効成分や代表的な商品名を掲載しているだけなので、商品名からRACコードを検索できるよう要望が多くあった。その要望に応えるために「商品名別RACコード検索表(③)」を作成し、2018年12月にホ

【①農薬の作用機構分類 和訳版(一部)】

IRACの作用機構分類 (v8.4、2018年5月)		
サブグループに関する情報は7.4を参照		
分類表における作用機構情報の表現は7.3を参照		
主要グループと1次作用部位	サブグループ あるいは代表的有効成分	有効成分
1 アセチルコリンエステラーゼ (AChE) 阻害剤  神経作用  (本タンパク質に対する作用が 殺虫効果を示す明らかな根拠 が有る)	1 A カーバメート系	アラニカルブ アルジカルブ ベンダイオカルブ ベンフラカルブ プトカルボキシム プトキシカルボキシム NAC(カルバリル) カルボフラン カルボスルファン

【②国内農薬の作用機構分類（一部）】

日本における農業用殺虫剤の作用機構				
IRAC殺虫剤作用機構分類(ver.8.4)を引用・改変(国内の食用作物登録剤、一部未登録農薬有)。 色分けは、その殺虫剤による発現症状、効果発現の速さおよび他の特性を判別するための一助として、作用機構と影響をうける生理機能のおおまかな分類とを関連付けたもので、抵抗性マネージメントの目的のためではない。抵抗性マネージメントのためのローテーションは、作用機構グループの番号にのみ基づくべきである。				
主要グループと一次作用部位	サブグループ あるいは代表的有効成分	有効成分	農薬名(例) (剤型省略)	
1 アセチルコリンエステラーゼ(AChE)阻害剤 神経作用	1A カーバメート系	アラニカルブ	オリオン	
		ベンフラカルブ	オンコル	
		NAC (カルバリル)	デナボン	
		カルボスルファン	アドバンテージ、ガゼット	
		BPMC (フェノピカルブ)	バッサ	
		メソミル	ランネット	
		オキサミル	バイデットL	
		チオジカルブ	ラーゼン	
		1B 有機リン系	アセフェート	オルトラン、ジェイエース、ジェネレート、スミフェート
			カスサホス	ラグビー
	クロロピリホス		ターゼン	

【③商品名別 RACコード検索表（一部）】

分類	商品名	用途	有効成分-1	RACコード-1	有効成分
オ	オリオン	殺虫剤	アラニカルブ	1A	
オ	オリザエトスター	殺虫殺菌剤	ジメトフラン	4A	アロハナゾール
オ	オリザトップ	殺菌剤	メミノストロビン	11	
オ	オリスター-A	殺虫剤	タイリクヒメハナカメムシ	「一(生)」	
オ	オリゼメート	殺菌剤	アロハナゾール	P02	
オ	オリゼメートアドバンテージ	殺虫殺菌剤	カルボスルファン	1A	アロハナゾール
オ	オリゼメートオンコル	殺虫殺菌剤	ベンフラカルブ	1A	アロハナゾール
オ	オリゼメートスタークル	殺虫殺菌剤	ジメトフラン	4A	アロハナゾール
オ	オリゼメートフェルテラ	殺虫殺菌剤	クロラントラニプロール	28	アロハナゾール
オ	オリゼメートプリンス	殺虫殺菌剤	フィプロニル	2B	アロハナゾール
オ	オリゼメートリッパ	殺菌剤	コニメトール	7	アロハナゾール

ホームページに掲載した。この検索表では登録されている商品名（混合剤を含む）から RAC コードを逆引きできるようにになっている。初版では 2018 年 6 月現在 FAMIC に登録されていた 2,197 剤を掲載した。なお、製剤の種類や含有量にかかわらず同じ商品名の農薬は統合した。同様に、屋号の違いも統合した。現在は 2018 年 12 月現

在登録されている 2,245 剤を掲載している。なお、初版以降に失効した農薬は当面そのまま掲載している。商品名別 RAC コード検索表は IRAC, FRAC, HRAC の改訂時と FAMIC の最新データベースに合わせるよう半年に一度程度改訂していく。

[https://www.jcpa.or.jp/lab0/xlsx/mechanism\\_rac.xlsx](https://www.jcpa.or.jp/lab0/xlsx/mechanism_rac.xlsx)

## 研究室紹介

# 岐阜県農業技術センター 病理昆虫部

岐阜県農業技術センターは、県の南部に位置し、イネ、トマト、イチゴ、カキ、バラ等、主に平坦地域を中心とした県の主要品目を対象に、研究開発や技術支援に取り組んでいます。病理昆虫部は平成28年度に、それまでの環境部の病害虫部門と生物機能研究部の一部を統合して新設されました。岐阜県の農業系研究機関において、病害虫防除を担当する部署は当センターのみであり、部長のほか、研究員6名（病害担当3名、虫害担当3名）と、圃場管理職員1名で研究業務にあたっています。

以下、現在行っている主要な研究課題について、概要をご紹介します。

### トマトの難防除病害の克服による生産の長期安定化

トマト生産の長期安定化を図るため、その難防除病害について対策技術の確立を目指しています。

地上部病害（灰色かび病、葉かび病、すすかび病）では、薬剤耐性を発達させない防除技術を確立するため、低リスク防除体系、省力的かつ効率的な防除技術、および環境改善手法による発病抑制について検討を進めています。

土壌病害（青枯病、かいよう病、半身萎凋病）では、土壌還元消毒や管理作業時の病害伝染抑制対策、耐病性品種の検討等に取り組み、作型や発病程度に応じた土壌病害対策が行えるよう、産地の栽培管理条件の調査も行っています。

### イチゴの栽培期間を通じた微小害虫防除体系の確立

イチゴ産地では、近年被害が拡大している微小害虫の防除対策が喫緊の課題となっています。本課題では、アザミウマ類とハダニ類対策について、薬剤防除とネット等による侵入防止や天敵利用を組合せ、育苗期も含めた



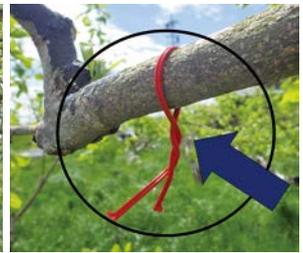
糖蜜飼料を用いた土壌還元消毒 トマト葉かび病の耐性菌検定



天敵糸状菌の探索と利用



樹幹害虫への高濃度少量散布



交信攪乱剤の設置

総合的防除体系の構築を目指しています。

### アザミウマ類に対する微生物農薬の実用化技術開発

野菜類の各産地では、薬剤抵抗性を獲得し易いアザミウマ類が問題となっています。そこで、高品質・安定生産のための防除技術として、微生物剤を利用した農薬開発を目指しています。性能評価試験によって、アザミウマ類に有効な天敵糸状菌株を自然界から選抜し、新規微生物農薬として実用化するため、大量生産法や防除性能を高める製剤化技術、およびその使用方法について検討しています。

### 温暖化に適応したカキ害虫防除体系の確立

温暖化の進行により、害虫発生期間の長期化や、発生世代数あるいは発生量の増加、さらにこれまで問題にならなかった潜在害虫の顕在化が懸念されています。また、これまで取り組んできた交信攪乱剤を核とした防除においても、高温により成分放出が増加し効果期間短縮が懸念されます。そこで、温暖化が進行しても対応できる、カキの害虫防除体系の確立を目指しています。

（病理昆虫部長 天野昭子）

## 研究室紹介

### 滋賀県農業技術振興センター 環境研究部 病害虫管理係

滋賀県は日本列島のほぼ中心に位置し、伊吹、鈴鹿、比叡、比良等の山々が周囲を取り囲み、中央には県土の総面積の6分の1を占める琵琶湖があります。美しい琵琶湖は県のシンボルであり、昭和52年に琵琶湖で初めて淡水赤潮が発生したことに端を発した、いわゆる「石けん運動」に象徴されるように、環境保全に関して極めて県民意識の高い県です。それ故、農業分野においても農薬や化学肥料を削減した「環境こだわり農産物」の生産を進めるため、平成15年に滋賀県環境こだわり農業推進条例が制定され、翌年度から全国に先駆けて環境農業直接支払制度が導入されました。

滋賀県農業技術振興センターにおいても、これに呼応した多くの研究課題に取り組んでいます。当センターで病害虫に関する試験研究は病害虫管理係が担当し、土壌肥料などの研究を担当する環境保全係と環境研究部を構成しています。因みに、植物防疫事業については病害虫防除所が担当しますが、環境研究部長と病害虫管理係の職員ほかがそれぞれ防除所長と防除所職員を兼務しています。

本県の代表的な農産物は米であり、「コシヒカリ」や「キヌヒカリ」のほか、県育成品種の「みずかがみ」や「秋の詩」等の多くが「環境こだわり農産物」として栽培されています。これまで、水稻の減農薬栽培技術として、種子の温湯消毒法の開発や微生物農薬との併用技術の開発、畦畔雑草の効率的な管理による斑点米カメムシ類の耕種的防除法の開発等が進められてきました。現在は、いもち病に対する圃場抵抗性遺伝子を保有した県育成系統を県内各地で栽培し、品種登録後の速やかな現地導入を目指した実証試験を実施しています。斑点米対策としては、本県で優占するカシカメムシ類について、生息地である雑草地の評価やカメムシの飛翔能力等から被害発生リスクを予測し、集積の進む比較的広い水田群を対象にした省力的防除体系の確立に取り組んでいます。

園芸作物については、近年、特に栽培面積の増加している施設イチゴなどを対象にした減農薬栽培技術の開発を行っています。紫外線(UV-B)の活用については、メーカーや大学との共同研究を進め、うどんこ病やハダ



図-1 超音波照射によるイチゴの病害防除試験



図-2 虫媒伝染発見の記念碑

ニ類に対する防除効果を明らかにしてきました。紫外線照射装置の低コスト化もあって、徐々に現地農家への導入が進んでいます。現在は、超音波を利用した病害抵抗性誘導の研究に取り組み、その試作機がセンター内ハウスで稼働中です(図-1)。

最後に、当センター中庭には昭和46年に日本植物病理学会と日本応用動物昆虫学会、日本ウイルス学会により建立された碑があります(図-2)。これは、植物ウイルスが虫媒伝染することを本県農事試験場などが明治時代後半に世界最初に発見したことを記念するものです。偉大な先人に負けないように、これからも新たな研究開発に取り組みます。

(環境研究部長 江波義成)

学会だより

○日本農薬学会

第36回農薬生物活性研究会のお知らせ  
<http://pssj2.jp/committee/bioactivity/bioactivity36.html>  
 日時：2019年4月26日(金) 10:00~16:50  
 場所：東京農業大学校友会館グリーンアカデミー 3F 大会議室  
 東京都世田谷区桜丘 3-9-31 (小田急線経堂駅または千歳船橋駅から徒歩15分)  
 参加費：3,000円(当日のお支払いをお願いします。)  
 申込み：事前の申し込みは不要です。

○気候変動と農業技術国際シンポジウム

「地球規模で考える気候変動と農山漁村」  
<http://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/ki-kouhendou/symposium/main.html>  
 日時：2019年5月13日(月) 10:00~18:00  
 場所：滋賀県立芸術劇場びわ湖ホール中ホール  
 定員：600名程度(先着順)

○第217回農林交流センターワークショップ

「栽培環境における気温の観測技法と利用」受講者募集について  
[http://www.affrc.maff.go.jp/tsukuba/top/event/workshop/ws\\_2019/217ws.html](http://www.affrc.maff.go.jp/tsukuba/top/event/workshop/ws_2019/217ws.html)  
 日時：2019年6月5日(水)~6月7日(金)

広告掲載会社一覧 (掲載順)

ダウ・アグロサイエンス(株)……………主要品目  
 農薬工業会……………RACコード  
 バイエルクロップサイエンス(株)…ナティーボ  
 BASF ジャパン(株)……………コテツ  
 フェニックス普及会……………フェニックス  
 日本曹達(株)……………ピシロック  
 日産化学(株)……………スターマイト  
 石原バイオサイエンス(株)…ネマトリンエース  
 クミアイ化学工業(株)……………フルピカ  
 サンケイ化学(株)……………主要品目

場所：1. 農林水産省農林水産技術会議事務局 筑波産学連携支援センター 筑波農林研究交流センター第1セミナー室および研修実験室 情報共同通信利用館(電農館)3階セミナー室  
 2. 農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センター(圃場)  
 定員：8名  
 参加費：56,000円(予定)  
 申込み：2019年5月7日(火)正午まで  
 \*応募等の詳細は、URLで確認願います。

次号予告

次号2019年6月号の主な予定記事は次のとおりです。

天敵温存植物の探索と利用技術の開発 安部順一郎	日植防シンポジウムから： 画像解析を利用した病害虫の同定 岩崎巨典
薬剤抵抗性研究の最前線： 「薬剤抵抗性農業害虫管理のためのガイドライン案」活用のメ リット 中島信彦	センサーとAIを活用した病害予測 盛 朝子
ワタアブラムシにおけるネオニコチノイド剤抵抗性発達メカニ ズムの解明と診断法の開発 土田 聡ら	植物防疫講座 病害編 菌核病菌による病害 窪田昌春
ナミハダニにおけるエトキサゾール抵抗性 刑部正博	植物防疫講座 虫害編 斑点米カスミカメムシ類 樋口博也
栽培終了後のカーバマナトリウム塩の新しい処理方法について 府賀伸彦	植物防疫講座 農薬編 アセチルコリンエステラーゼ阻害剤(有 機リン剤) 下川床康孝
タマネギべと病の第一次伝染に関する最近の研究 渡邊幸子ら	研究室紹介：農研機構 野菜花き研究部門 野菜生産システム研究 領域 窪田昌春 農研機構 果樹茶業研究部門 生産・流通研究領域 三代浩二

植物防疫

第73巻 2019年4月25日印刷  
 第5号 2019年5月1日発行  
 (通算869号)

定価947円  
**本体877円**

2019年分購読料  
 前払10,800円、後払11,364円  
 (送料サービス、消費税込み)

発行所  
 〒114-0015 東京都北区中里2丁目28番10号  
 一般社団法人 日本植物防疫協会  
 電話(03)5980-2181(代)  
 FAX(03)5980-6753(支援事業部)  
 振替 00110-7-177867番

2019年  
 5月号  
 (毎月1回1日発行)

編集発行人 藤田 俊一  
 印刷所 三美印刷(株)  
 東京都荒川区西日暮里5-9-8

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。また、無断複写・複製(コピー等)は著作権法上の例外を除き禁じられています。

# べと病、疫病、白さび病を ピシッとロック!

**新発売**

農林水産省登録 第23952号

**殺菌剤**

ピカルブトラゾクス水和剤

## ピシロック® フロアブル



**新規有効成分**ピカルブトラゾクス配合!(FRACコード U 17)

**収穫前日**まで使える!(はくさいは収穫3日前まで)

【登録作物】

キャベツ、はくさい、ブロッコリー、レタス  
非結球レタス、ほうれんそう、きゅうり、メロン、すいか  
トマト、ミニトマト、たまねぎ、だいこん、てんさい



HPIはこちらから



**日本曹達株式会社**

東京都千代田区大手町2丁目2番1号  
☎(03)3245-6178 FAX(03)3245-6084  
<http://www.nippon-soda.co.jp/nougyo/>



®は日本曹達(株)の登録商標

●使用前にはラベルをよく読んでください。●ラベルの記載以外には使用しないでください。●小児の手の届く所には置かないでください。●使用後の空容器等は圃場などに放置せず、適切に処理してください。

# チョウ目害虫防除に!

**殺虫剤**

## フェニックス®

**顆粒水和剤**

**フロアブル**



**71**作物に登録。  
幅広く使えて、効きめが長く続く!

果樹・茶のチョウ目害虫、  
枝幹害虫の防除にも(ヒメボクトウ、フタモンマダラメイガ等)



フェニックス普及会

日本曹達株式会社 事務局 日本農薬株式会社  
東京都中央区京橋1丁目19番8号

●使用前にはラベルをよく読んでください。  
●ラベルの記載以外には使用しないでください。  
●本剤は小児の手の届く所には置かないでください。

# 作用点まで しっかり届く!

殺ダニ剤  
**スターマイト**<sup>®</sup>  
70777ル



## 殺ダニ成分「シエノピラフェン」配合

だから…

- **抵抗性ハダニにもきちんと効く**  
殺ダニ成分「シエノピラフェン」が、ハダニ体内にある「電子伝達系複合体II」にしっかり届き、その働きを阻害するので抵抗性ハダニにも優れた効果を発揮します。
- **卵から成虫まで、ハダニの全ステージにしっかり効く**  
卵・幼虫・若虫・成虫とあらゆる生育ステージが混在して発生するハダニ類。全ステージに効くので、ハダニの様々な発生状況に対応できます。

●ラベルの記載以外には使用しないでください。●使用前にはラベルをよく読んでください。●本剤は小児の手の届くところには置かないでください。

 **日産化学株式会社**

東京都中央区日本橋二丁目5番1号  
ホームページ <https://www.nissan-agro.net/>

お客様窓口 TEL.03-4463-8271  
(9:00~17:30 土日祝日除く)

殺線虫剤

農林水産省登録  
第 20265 号

# ネマトリン<sup>®</sup>エース

有効成分：ホスチアゼート……1.5% 人畜毒性：普通物（毒劇物に該当しないものを指している通称）  
Ⓜ は登録商標

## 粒剤



センチュウ  
退治に  
この一手!!

作物をしっかりとガード

### 特長

- 散布後すぐには種、定植ができる。
- 強力な運動阻害効果と殺センチュウ効果をあわせもつ。
- 浸透移行性を有するため、地上部害虫にも副次効果を発揮。（ばれいしょ、なす、いちご）
- 土壌タイプ、地温、土壌 pH の影響をほとんど受けない。

### 線虫の被害



ネコブセンチュウ  
最も重要な線虫で、多発すると  
収量を激減させる



ネコブセンチュウ  
による被害  
(メロンの根部)



ネコブセンチュウ  
による被害  
(かんしょ)



ネグサレセンチュウ  
による被害  
(ダイコン)



ジャガイモシスト  
センチュウ  
(雌センチュウ)

●使用前にラベルをよく読んでください。●ラベルの記載以外には使用しないでください。●小児の手の届く所には置かないでください。

**ISK** 石原産業株式会社

**ISK** 石原バイオサイエンス株式会社

〒102-0071 東京都千代田区富士見2丁目10番2号

殺菌剤  
**フルヒカ**  
 フロアブル  
 農林水産省登録 第19100号  
 灰色かび病、うどんこ病に

自然に学び 自然を守る  
**クミアイ化学工業株式会社**  
 本社 東京都台東区池之端1-4-26 〒110-8782 TEL.03-3822-5036  
 ホームページ <http://www.kumiai-chem.co.jp>

●使用前にはラベルをよく読んでください。  
 ●ラベルの記載以外には使用しないでください。  
 ●本剤は小児の手の届く所には置かないでください。  
 ●防除日誌を記載しましょう。

JAグループ 農協 | 全農 | 経済連  
 は登録商標 第4702319号

クミアイ化学工業(株)の登録商標

SANKEI  
 ECO PRODUCTS

植物油脂パワー!  
**サンクリスタル乳剤**

チョウ目害虫退治の生物農薬!  
**サンケイ サブリナフロアブル**

植物保護薬!  
**サンケイ ジーファイン水和剤**

硫黄の力でうどんこ病防除!  
**サンケイ クムラス**

安定した銅の効果!  
**サンボルドー**

キュウリ・カボチャのうどんこ病に!  
**ハツパ乳剤**

硫黄と銅の強力タッグ!  
**園芸ボルドー**

**サンケイ化学株式会社**  
 本社 〒891-0122 鹿児島市南栄2丁目9 ☎(099) 268-7588  
 東京本社 〒110-0005 東京都台東区上野7-6-11 ☎(03) 3845-7951

