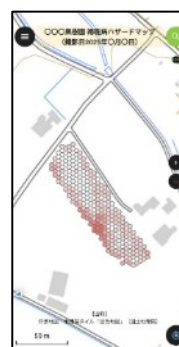


# ドローンセンシングを活用した リンゴ褐斑病対策技術

## <活用マニュアル>



果樹ドローン研究コンソーシアム 編

令和4年度補正予算及び令和5年度当初予算 「戦略的スマート農業技術の開発・改良」

## 改定履歴

版数	発行日	改定者	改定内容
初版	2026年3月10日	富山県果樹研究センター 杉山	初版発行

## 目次

免責事項.....	1
第1章 はじめに.....	2
1. 本マニュアルの目的.....	2
2. 「リンゴ褐斑病ハザードマップ」の特徴.....	3
(1) 活用・特徴.....	3
(2) 留意点.....	3
3. 「リンゴ褐斑病ハザードマップ」の主な作製手順.....	4
4. 「リンゴ褐斑病ハザードマップ」の作成者.....	5
5. 「リンゴ褐斑病ハザードマップ」の利用者.....	5
第2章 リンゴ褐斑病の概要.....	6
1. リンゴ褐斑病とは.....	6
2. 発生のしくみと進行ステージ.....	6
3. 褐斑病が与える影響.....	8
4. 褐斑病の見つけ方.....	8
5. 褐斑病の主な生活環.....	9
6. 防除のポイントと対策.....	9
第3章 「リンゴ褐斑病ハザードマップ」の活用法.....	10
1. 活用方法.....	10
(1) 病害多発地点の把握.....	10
(2) データの共有と蓄積.....	10
(3) 防除対策への活用.....	10
2. 活用事例.....	11
(1) 実証事例1.....	11
(2) 実証事例2.....	14
第4章 実践的な防除管理法.....	15
1. 薬剤到達性の改善.....	15
(1) 支柱立て・枝つり.....	15
(2) 新梢管理.....	15
(3) 防除方法の改善.....	16
(4) せん定・間伐.....	17
2. 落葉処理.....	18
(1) 乗用草刈機を用いた収集法.....	18
(2) 乗用草刈機を用いた破碎法.....	18
参考資料.....	19

その他の情報.....	20
担当窓口・連絡先.....	21
コンソーシアムに関するお問い合わせ.....	21
技術内容に関するお問い合わせ.....	21
編集・発行.....	21

## 免責事項

- ・ 利用者が本マニュアルに記載された技術を利用したこと、または利用できなかったことに起因して生じたいかなる結果についても、本マニュアルの作成者は一切の責任を負わないものとします。
- ・ 本マニュアルに記載したセンシング技術は、リンゴ褐斑病を主要病害とする園地において、「ふじ」マルバカイドウ台木の開心自然形樹を対象に、Mavic 3M（DJI 社）のRGBカメラを用いて実施した事例に基づくものです。本技術の適用精度は、実施条件によって変動する可能性があることに留意ください。

# 第1章 はじめに

## 1. 本マニュアルの目的

近年、リンゴ褐斑病は全国的に早期感染・多発の傾向がみられています。本病の初期発生は、薬剤が届きにくい樹冠内部や風通しの悪い部位で見られることが多く、単に散布液量や散布回数を増やすだけでは十分な防除効果が得られません。そのため、せん定等の耕種的防除を組み合わせた総合的な管理が有効とされています。

しかし、せん定や落葉処理を行う落葉期においては、生育期間中のように罹病葉の多少から発病状況を把握することが難しくなります。また、経営規模が大きい園地では、生育期間中であっても園地全体の発病状況を面的に把握することが困難であるのが現状です。

そこで本研究では、ドローン、AI および GIS（地理情報システム）を組み合わせ、リンゴ褐斑病の発生が多い場所を地図上に可視化した「リンゴ褐斑病ハザードマップ」を作成する技術を開発しました（図1）。本ハザードマップを活用することで、褐斑病の発生リスクが高い場所を選択的に管理することが可能となり、薬剤散布や耕種的防除を効率的に実施できます。その結果、病害リスクの低減や防除作業の省力化、さらには減農薬への寄与が期待されます。

本マニュアルは「リンゴ褐斑病ハザードマップ」の活用方法（図1④）を中心に紹介します。マップの作成方法（図1①～③）については、別冊「技術マニュアル」をご参照ください。



図1-1 ドローンセンシングを活用したリンゴ褐斑病対策技術のイメージ図

## 2. 「リンゴ褐斑病ハザードマップ」の特徴

### (1) 活用・特徴

- ・リンゴ褐斑病の発生状況を地図上に表示した「リンゴ褐斑病ハザードマップ」を作成できます。
- ・リンゴ褐斑病が多発している地点を把握し、次年度の栽培に向けた農薬散布の改善やせん定や落葉処理等の耕種的防除を重点的に実施するための参考資料として活用できます。
- ・ハザードマップは画像データとして表示・印刷ができる他、専用アプリを使用することでスマートフォンなどの携帯端末でも表示することができます。
- ・本マニュアルで使用する AI と GIS ソフトはオープンソースを使用しています。

### (2) 留意点

- ・ドローン画像に罹病葉が写りにくい発病初期や罹病葉の落葉が進行した条件では適切な評価が困難となります。
- ・リンゴ褐斑病発生状況の定量評価や従来の目視調査の単純な代替法としての活用はできません。
- ・リンゴ褐斑病は薬剤が届きにくい部位で見られることが多く発生しますが、その原因は様々です（枝の混み具合、農薬散布の液量・方向・距離等）。適切な対策を講じるには現地確認を行い、多発原因を推定する必要があります。
- ・ハザードマップの作成にはドローンや AI の実行環境、GIS ソフト等、特殊な機器やソフトウェアが必要となります。



図 1-2 パソコン用 GIS ソフト「QGIS」で表示した例

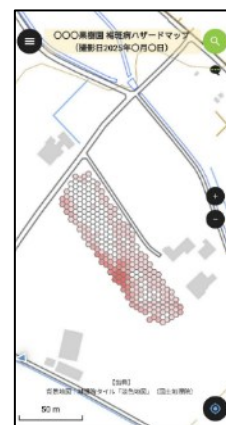


図 1-3 スマートフォンアプリ「QField」で表示した例

### 3. 「リンゴ褐斑病ハザードマップ」の主な作製手順

(1) ドローンでほ場全体を空撮

- ・ドローンのRGBカメラを用いてほ場全体を撮影します（オルソ画像撮影モード）。
- ・撮影高度は地上高10m程度とします（本マニュアルでは12mで飛行）。

(2) AIで画像解析

- ・物体検出モデル（YOLOv8）と小さな物体の検出精度を高める画像分割処理（SAHI : Slicing Aided Hyper Inference）を用いて、各ドローン画像から「リンゴ褐斑病罹病葉」と「その他の葉」を検出します。
- ・罹病葉率を求め、CSVデータ（緯度、経度、罹病葉率）として出力します。

(3) GISで地図作成

- ・GISソフト「QGIS」に画像解析結果（CSVデータ）と撮影位置情報を入力し、地図上に発病状況を可視化します。

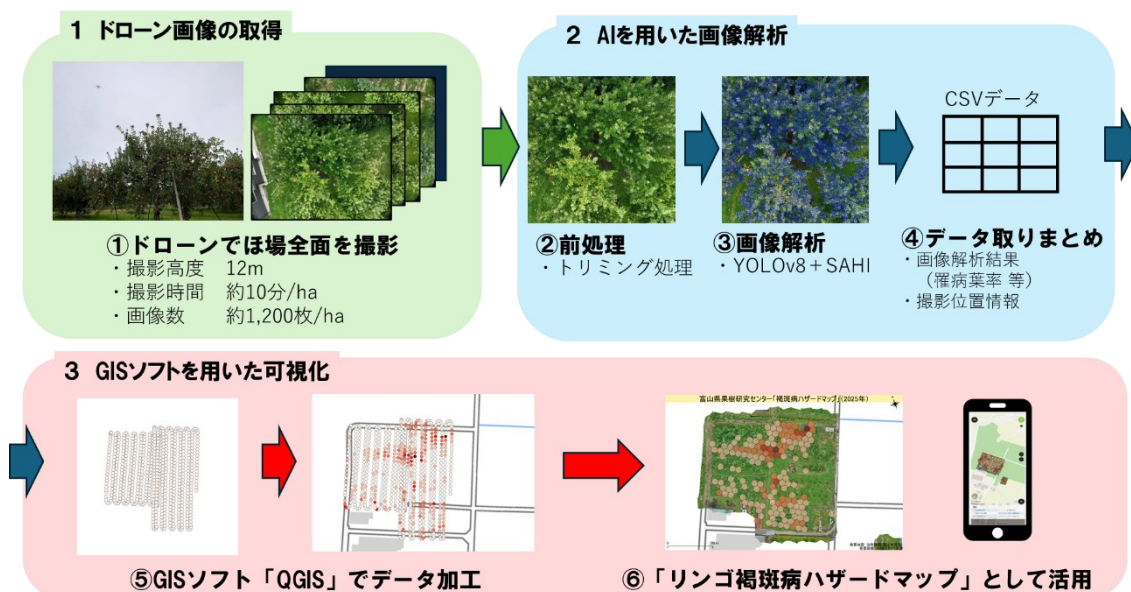


図1-4 「リンゴ褐斑病ハザードマップ」の主な作業手順



## 4. 「リンゴ褐斑病ハザードマップ」の作成者

ハザードマップの作成にはドローンを用いた空撮、AI を用いた画像解析、GIS ソフトを用いた作図等、様々な機器やソフトウェアを使用します。このため、マップの作成者は関連する知識を有する専門の企業（ドローン作業受託企業、ソフトウェア企業）や指導機関（都道府県、JA など）を想定しています。

「リンゴ褐斑病ハザードマップ」の作成に関する詳細については、別冊「技術マニュアル」をご参照ください。



図 1-5 別冊「技術マニュアル」

## 5. 「リンゴ褐斑病ハザードマップ」の利用者

リンゴ褐斑病の発生状況を面的に把握したい、リンゴ生産者や指導者（JA、県等）の利用を想定しています。実施者自らドローン画像を撮影する場合は小規模な面積から利用可能ですが、業者に委託する場合は数 ha 規模での利用が現実的と思われます。

生産者における具体的な活用方法については、本マニュアル第 3 章をご参照ください。

## 第2章 リンゴ褐斑病の概要

### 1. リンゴ褐斑病とは

リンゴ褐斑病は、リンゴの重要病害の一つであり、主に葉と果実に感染するかび（病原菌：*Diplocarpon mali*）による病気です。早期落葉により果実品質の低下等の影響がみられます。

### 2. 発生のしくみと進行ステージ

#### ・一次伝染（4～7月頃）

前年の罹病落葉に形成された子のう殻から子のう胞子が放出され、降雨に伴って飛散し、葉や果実に感染する。子のう胞子の放出時期は気温の影響を受けるため、地域により異なります。

#### ・二次伝染（6月～）

罹病葉上の病斑に形成される分生子が降雨によって飛散し、周囲の葉へ感染が拡大します。

#### ・葉の症状：

初期：小さな紫褐色の斑点が現れる（図2-1）

中期：斑点が融合して**大きな病斑**になる（図2-2）

後期：**葉が黄変し**、落葉が始まる（図2-3）

終期：多くの罹病葉が落葉（図2-4）

#### ・果実の症状：

暗褐色～黒色、円形～楕円形、4～6mm、陥没した斑点がみられる  
軟腐はせず、進展も非常に遅い



図 2-1 紫褐色の小病斑



図 2-2 褐色病斑

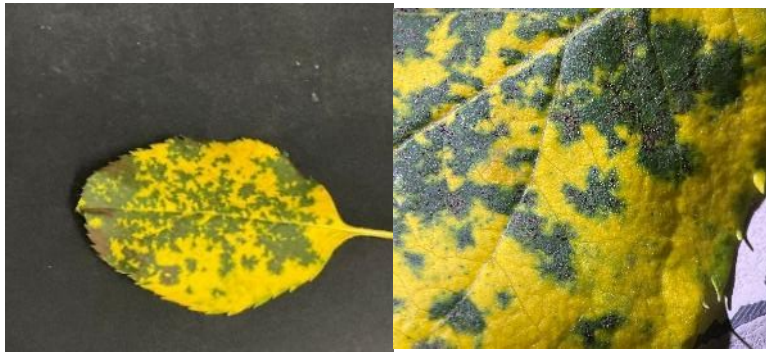


図 2-3 黄変した罹病葉



図 2-4 早期落葉した枝

### 3. 褐斑病が与える影響

- ・葉の早期落葉 → 光合成量の減少 → 樹勢・果実品質の低下等
- ・果実の感染 → 規格外品の増加 → 減収

### 4. 褐斑病の見つけ方

病斑上には「分生子層」と呼ばれる黒色粒状の小粒点が生じます（図2-5）。  
分生子層は肉眼でも見ることができますが、ルーペを用いることで容易に観察できます。

#### <斑点落葉病との違い>

斑点落葉病は褐斑病と同じくリンゴの重要病害であり、罹病葉の外観がよく似ています  
見分けるポイントは以下のとおりです。

#### (1) 罹病葉の外観

褐斑病は病斑上に分生子層がみられ（図2-2、図2-5）、多発した葉は病斑の周囲が  
黄変しますが（図2-3）、斑点落葉病はこれらの特徴がみられません。

#### (2) 感受性の品種間差

褐斑病は品種間差がありませんが、斑点落葉病は品種間差があります。

（「紅玉」や「つがる」は感染しにくく、「玉林」は感染しやすく、「ふじ」は中程度）

#### (3) 発生位置

褐斑病は枝が混んでいる所や樹冠最上部など、薬剤が届きにくい場所から発病が始  
まる傾向があります。斑点落葉病は当年枝の“中位～先端葉”で多い傾向があります。



図2-5 褐斑病（左）と斑点落葉病（右）の比較

## 5. 褐斑病の主な生活環

前年の罹病葉上に形成される子のう殻から放出される「子のう孢子」(一次伝染)と、当年の罹病葉や罹病果の病斑上に形成される分生子層から放出される「分生子」(二次伝染)で伝染します。

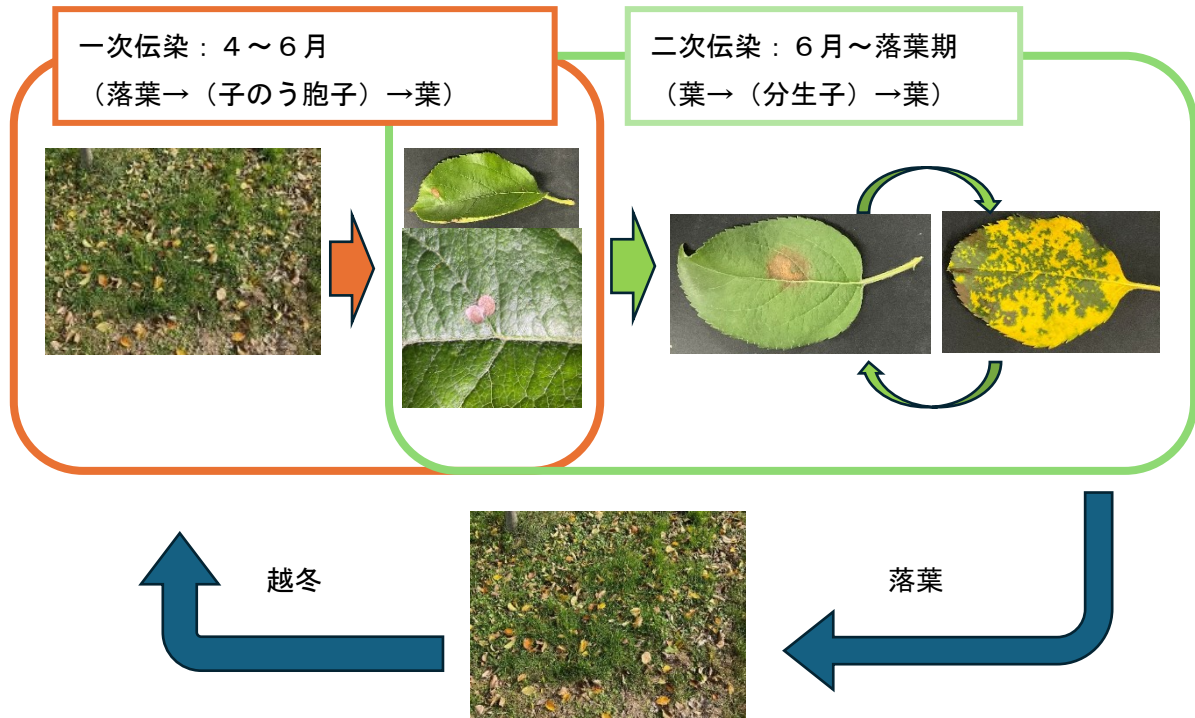


図2-6 褐斑病の主な生活環

## 6. 防除のポイントと対策

- ・ 一次伝染源を減らす！ → 落葉処理(被害落葉の回収や破碎)
- ・ 薬剤散布量を十分確保する！ → 慣行栽培では500L/10a未満の園地で多発傾向
- ・ 薬剤の到達性を高める！ → 整枝・せん定、支柱入れ  
防除機の走行ルート確認
- ・ 効果的な薬剤の選択 → 効果と耐性菌リスクに留意し薬剤を選定

## 第3章 「リンゴ褐斑病ハザードマップ」の活用法

### 1.活用法

#### (1) 病害多発地点の把握

- ・ほ場内の発病状況を面的に把握することができます。
- ・落葉後にせん定等の耕種的防除を行う際、多発地点の把握が容易となります。
- ・経営面積が大きい等により発病状況の把握が困難な場合に活用できます。

#### (2) データの共有と蓄積

- ・ハザードマップは GIS ソフトによりデータを見る他、画像データとして保存、或いは印刷することができます。
- ・スムーズな情報共有：雇用労働者への作業指示や、指導機関へ相談する際の客観的な資料として活用します。
- ・データを蓄積することで、対策効果の検証等に活用することができます。

#### (3) 防除対策への活用

- ・耕種的防除について  
新梢管理、せん定、落葉処理、支柱立て、枝つり等を行う際、被害の多いエリアを優先するなど作業位置や順序の調整に活用します。
- ・化学的防除について  
被害状況に応じた防除機の走行ルートや、重点的に散布すべき箇所の特定（散布液量の調整）に役立っています。

## 2.活用事例

ハザードマップを見ることで褐斑病の多発地点を把握することはできますが、その原因は様々です。発病リスクの軽減につなげるには、以下のアクションが不可欠です。

①多発と判断された地点を現地確認

ポイント！

②現地の状況から多発原因を推定

③対応策を策定

④対応策を実行

②で多発原因を推定する際は、巻末の「チェック表」を参照にしてください。

マニュアルでは、具体例として2園地で行った、「リンゴ褐斑病ハザードマップ」の活用事例を紹介します。

### (1) 実証事例1

経時的に撮影を行った事例。

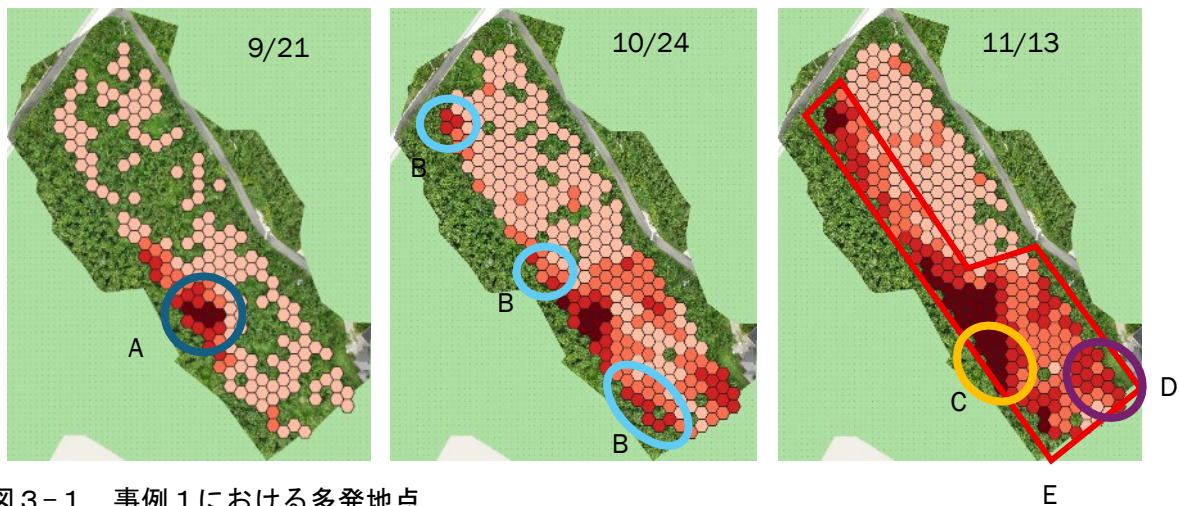


図3-1 事例1における多発地点

グリッドサイズは4m×4m、背景にOpenStreetMapとオルソモザイク画像を使用。

罹病葉率に基づき、自然分類法により5段階で色分けを行った。

① 図3-1A 地点：園地中央付近

状況・原因 ほ場内に防除機が入れない区画があり、その周辺は防除方向が片側のみ。

対応策 補正散布を行う。伐採や間伐により薬剤付着性を改善する。



図3-2 A地点の拡大図（オルソ画像）

裸地の部分は移動できない障害物があるため防除機が入れない場所。

② 図3-1B 地点：園地外周の一部

状況・原因 隣接園との境界近くに植栽されている樹は境界線側に防除機が入れず、防除方向が片側のみ。

対応策 補正散布を行う。伐採や間伐により薬剤付着性を改善する。



図3-3 B地点の樹 黄色線は隣接園との境界線を示す



**③図3-1C 地点：境界線が湾曲している**

状況・原因 隣接園との境界が湾曲している場所。  
散布むらが発生している可能性がある。

対応策 防除機（SS）の走行速度を下げるなど  
により薬剤散布量を確保する。



図3-4 C地点

黄色線は隣接園との境界線を示す

**④図3-1D 地点：住宅横**

状況・原因 樹のそばに住宅があり、防除機（SS）での薬剤散布が困難な場所

対応策 住宅に薬剤がかからない方向からの散布液量を増やす。  
手散布による補正散布を行う。

**⑤図3-1E 地点：隣接園との境界および園地の下半分**

状況・原因 A～Dにより被害落葉が多いエリア。

対応策 落葉処理の実施を検討する。

## (2) 実証事例2

一度撮影を行った事例。



図3-5 事例2における多発地点

グリッドサイズは6m×6m、背景地図はOpenStreetMapを使用。

罹病葉率に基づき、自然分類法により5段階で色分けを行った。

### ① 図3-5Bエリア：園地右側

状況・原因 BエリアはAエリアと比べ樹が大きく、樹の配置が不均等で大枝の重なりも多く、防除機(SS)が樹間を通れない場所や、防除機(SS)と樹の距離が遠い場所がある。

対応策 薬剤到達性を高めるため大枝配置を見直す(せん定による樹形改善)

防除機(SS)が樹間を通れない場所は縮伐・間伐を検討する。

防除機(SS)の走行ルートを見直す

落葉処理(乗用モアによる破碎等)を優先的に行う。

## 第4章 実践的な防除管理法

この章では、開心自然形を想定し、褐斑病の感染リスクを下げる防除管理法（薬剤到達性の改善と落葉処理）を紹介します。

### 1. 薬剤到達性の改善

#### （1）支柱立て・枝つり

- ・果実が大きくなるに伴い、その重みで枝が下垂し、枝と枝が交差することで薬剤の到達性が悪くなります。主枝、垂主枝は先端部が下垂しないよう支柱立てを行うことで、薬剤の到達性を改善できます。



図4-1 主枝先端に支柱を立てた樹

#### （2）新梢管理

- ・開心自然形では幹基部近くから多くの枝が発生し、薬剤透過性を悪化させます。夏季せんで切除しますが、主枝背面については日焼け防止のため一部を残します。



図4-2 主幹部から発生している新梢

### (3) 防除方法の改善

- ・園地外周部など散布方向が片側一方向となる場所や枝が込んでいる場所は、薬剤付着量が少なくなります。往復走行や補正散布を行い、散布むらを無くします。
- ・補正散布を行う際は、動力噴霧器の他、農業用ドローンでも一定の効果が期待されます。
- ・散布方法に関わらず、散布内容（使用薬剤その希釈濃度）が同じで、防除機（SS）の散布直前あるいは直後（薬剤が濁く前）の散布であれば、散布回数は1回としてカウントされます。

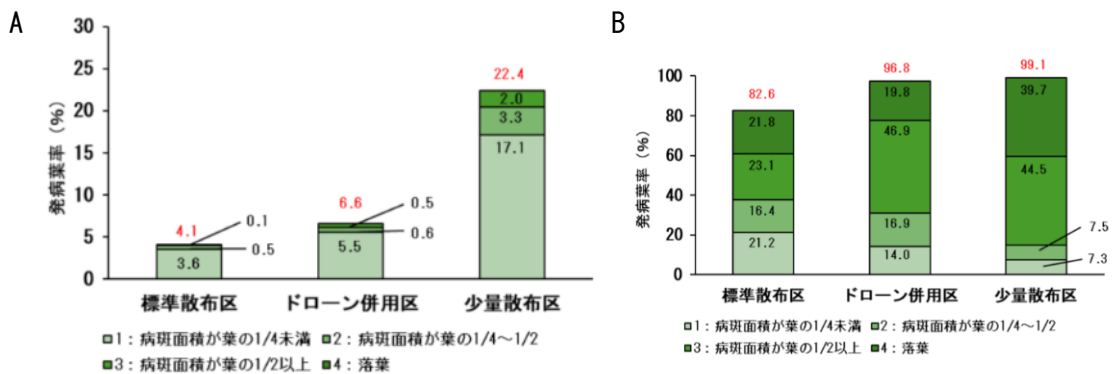


図 4-3 ドローンを用いた補正散布の効果

A: 9月上旬の発病葉率、B: 11月中旬の発病葉率。4月中旬から10月上旬までの期間、試験区の条件に合わせて防除を行った。標準散布区はSSで約500L/10a散布。ドローン併用区はSSで約300L/10a散布+ドローン80L/10a。少量散布区はSSで約300L/10a。



図 4-4 ドローンを用いた補正散布の様子

#### **(4) せん定・間伐**

- ・ 薬剤の散布量が十分確保されていても、大枝（主枝・垂主枝・側枝）の配置によっては樹冠内部の薬剤付着量が不足する場合があります。
- ・ 防除機（SS）の走行位置と樹との距離や散布方向を十分に考慮し、必要に応じて大枝の切除や間伐を実施してください。

## 2. 落葉処理

褐斑病の病原菌は主に被害落葉上で越冬するため、被害落葉を除去することは翌年の一次伝染防止に直結します。

### (1) 乗用草刈機を用いた収集法

落葉収集機を乗用草刈機でけん引することにより、雪解け後で葉が地面に張り付いた状態でも効率よく落葉を収集できます。

詳細については、「落葉収集機を利用した省力的な落葉除去とリンゴ黒星病に対する発生低減効果（地方独立行政法人青森県産業技術センター 令和4年度 普及する技術・指導参考資料）」をご覧ください。

### (2) 乗用草刈機を用いた破砕法

富山県ニホンナシ産地において、ニホンナシ黒星病対策として乗用草刈機等を用いた落葉の破砕処理が行われています。本手法のリンゴ褐斑病に対する効果は未確認ですが、参考情報として記載します。

#### ①実施時期

雪解け後は落葉が地面に張り付き乗用草刈機による破砕が困難となるため、降雪前に実施する必要があります。降雪が早い地域は他の方法を選択してください。

#### ②実施方法

##### i 実施手順

- ・ 幹元や園地外周など、乗用草刈機が通れない場所は熊手やブロアーを用いて事前に落葉をかきだします。ただし、落葉を積み上げた状態だと破砕効率が低下するため、破砕前に落葉を適度に散らした状態にしておきます。
- ・ 乗用草刈機で園地全面を2回（例：1回目縦方向、2回目横方向）走行し、落葉を破砕します。

##### ii 作業のポイント

- ・ 葉が地面に張り付くと破砕が困難となります。このため、下草がある程度伸びている状態で破砕処理することが望ましいです。
- ・ 複数回実施する場合、初回は刈高を高くして実施し、回を重ねるごとに刈高を下げていくことで、効率よく破砕できます。
- ・ 葉が濡れていると破砕時に葉が舞って破砕効率が低下します。降雨後や朝露がある時間帯など、葉が湿っている状態で実施することが望ましいです。

## 参考資料

リンゴ褐斑病 多発要因チェック表

調査日： \_\_\_\_年 \_\_\_\_月 \_\_\_\_日

調査位置： \_\_\_\_\_

調査者： \_\_\_\_\_

### 【A】 樹体・栽培管理（発病しやすい樹の状態）

No	チェック項目	○	▲	×
A-1	樹勢が強すぎる（徒長枝が多い）	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A-2	樹冠内部が混み合っている	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A-3	夏季せん定が不十分／未実施	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A-4	下枝・徒長枝が多く葉が重なっている	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 【B】 防除履歴・防除技術

No	チェック項目	○	▲	×
B-1	雨前・長雨前に防除できなかった	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B-2	同系統薬剤を連用している	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B-3	散布量が不足（夏季の標準散布量400L/10a）	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B-4	片側散布になっている	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B-5	その他散布方法に問題（防除機の種類、速度、距離、風圧等）	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 【C】 前年からの影響・周囲の伝染源の影響

No	チェック項目	○	▲	×
C-1	前年もリンゴ褐斑病が多発した	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C-2	落葉のすき込み・除去をしていない	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C-3	園地周辺に放任樹・管理不十分園がある	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## その他の情報

本資料は生研支援センターの「令和4年度補正予算及び令和5年度当初予算 戦略的スマート農業技術の開発・改良」により実施した研究成果に基づき編集しています。

### 〈研究課題名〉

ドローン画像を利用した果樹の開花着果状況、病害発生状況の解析に基づく効率的栽培管理技術開発

### 〈研究期間〉

令和5年度～令和7年度

### 〈研究担当機関〉

新潟食料農業大学

新潟県農業総合研究所園芸研究センター

富山県農林水産総合技術センター園芸研究所果樹研究センター

株式会社プロGRESS

聖籠フルーツビレッジ



## **担当窓口・連絡先**

### **コンソーシアムに関するお問い合わせ**

新潟食料農業大学 総務部 経理・研究支援課

新潟県胎内市平根台 2416

TEL 0254-28-9828

Mail keiri@nafu.ac.jp

### **技術内容に関するお問い合わせ**

富山県農林水産総合技術センター園芸研究所果樹研究センター

富山県魚津市六郎丸 1227-1

TEL 0765-22-0185

Mail anorincenter@pref.toyama.lg.jp

## **編集・発行**

〈発行〉令和8年3月10日

〈編集・発行〉富山県農林水産総合技術センター園芸研究所果樹研究センター