



施設園芸における空気伝染性病害の 発生予測と病害管理

AI病害発生予測コンソーシアム マニュアル・研究報告

2023年3月

施設栽培のAI発病予測を利用した病害管理

農作物を病害虫・雑草等による害から保護し、安定して十分な量を継続的に生産するために総合防除を実践することが求められています。総合防除を実践する上では病害虫の発生を予測し、これを踏まえた管理を行うことでより合理的な被害回避ができることが期待されます。私たちは、施設園芸作物の主要病害について、近年発達が著しいAI(人工知能)を用いた発病予測システムを開発し^{注1)}、これに基づいた病害管理技術の確立を目指して研究を行いました。この研究は生物系特定産業技術研究支援センターの支援を受け、「AI 病害発生予測コンソーシアム」^{注2)}を結成して実施しました。その成果の一端を、本ページに掲載した書籍「施設園芸における空気伝染性病害の発生予測と病害管理」^{注3)}によってご紹介します。

本書は3編構成となっています。第1編は、施設園芸のAI発病予測システムの構成と開発研究、それに利用法の概略を紹介しています。

第2編では、開発した発病予測システムを利用した病害防除の実践例を病害ごとに紹介しています。

第3編では、発病予測ソフトウェアやシステムを開発する上で参考とするため、改めて検証あるいは調査したそれぞれの病気の発生生態に関する研究成果を紹介しています。ここで得られた成果は、環境制御等による病害管理技術の開発においても今後、役に立つことが期待されます。

なお本研究プロジェクトの成果の一部は、今後、学術雑誌等で公表することとすることから、データの新規性(オリジナリティ)を維持する必要があります。そのためこれらのデータの掲載を今回は見送り、学術雑誌・研究会等で公表した後に掲載いたします。どうぞご了承ください。

施設園芸で発生する菌類による空気伝染性病害のAIを用いた発生予測はつい最近、世の中にリリースされた新しい技術です。私たち本コンソーシアム参加者は、この技術が、施設園芸における次世代の病害管理技術の発展に役立つことを期待しています。

古屋 廣光
AI病害発生予測コンソーシアム研究統括者
令和5年3月

注)

- 1)本研究は生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」【開発研究ステージ】の支援を受けて、平成30年度～令和4年度に実施しました。
- 2)本プロジェクト研究は「AI病害発生予測コンソーシアム」により実施しました。以下、このコンソーシアムを「AI発病予測コンソ」と略称します。
- 3)本書の要約版を、本書と同じサイトにおいて近々、公表する予定です。

目次

第1編

「施設園芸における主要病害発病予測システム:プランテクト[®]」

第2編

「施設園芸で多発する空気伝染性病害の発生生態 — トマト・キュウリ・イチゴ病害に対する気象要因の影響を中心として—」

第3編

「AI発病予測システムを利用した施設栽培における空気伝染性病害管理の事例」

第1編

「施設園芸における主要病害発病 予測システム:プランテクト[®]」

施設園芸における主要病害発病予測システム「プランテクト[®]」

▶ 佐々 貴洋, 伊藤 聖
(バイエルクロップサイエンス株式会社)

1. プランテクト[®]の概略

プランテクト[®]は3つのセンサーと通信機で、温度や湿度などハウス内の環境をハウスから離れた場所からでも確認できる環境モニタリングサービスである(図1)。AIによる感染予測機能を搭載し以下のことが可能である。

1) モニタリング機能

- ・スマートフォン・タブレット・パソコンなどでハウス内環境データをいつでもどこでも確認できる。
- ・外出先でも確認できるので、見回りの回数を削減できる。
- ・家族や仲間、栽培従事者などとデータの共有ができる。

2) 感染リスクを予測する

- ・蓄積されたデータを元に、AIがトマト・ミニトマト、キュウリ、イチゴの主な病気の感染リスクを予測する。
- ・5日先までの感染リスクを予測し、病気の感染リスクが高くなったときに、その病害に登録のある「おすすめ農薬」を表示する(表示される農薬は、使用回数やFRACコードを加味している)。
- ・データの活用とAIの再学習により、ハウスごとに予測精度を向上させていく。
- ・病気の感染リスクが高くなった時には、利用者のアプリやメールに警報が届く。

3) 日々の気象状況をグラフで表示する

- ・気温、相対湿度、二酸化炭素濃度、日射量、露点温度、飽差、積算温度を表示する。
- ・ハウス内の環境をリアルタイム(10分ごと)で取得する。
- ・以上のモニタリング項目はグラフで表示される。複合グラフとすることも可能である。

4) データの蓄積と活用

- ・作物名・品種・栽植密度・作付開始日などをアプリに記録できる。
- ・栽培中に発生した病害と日付を記録し、薬剤散布記録とあわせて振り返ることで、次作の防除計画に活用できる。
- ・モニタリングデータや作付け情報のデータをCSV形式でダウンロードできる。

機器やソフトウェアに関する最新情報は、プランテクト[®]紹介サイト*を参照のこと。

注*) <https://cropscience.bayer.jp/ja/home/plantect/plantect.html>

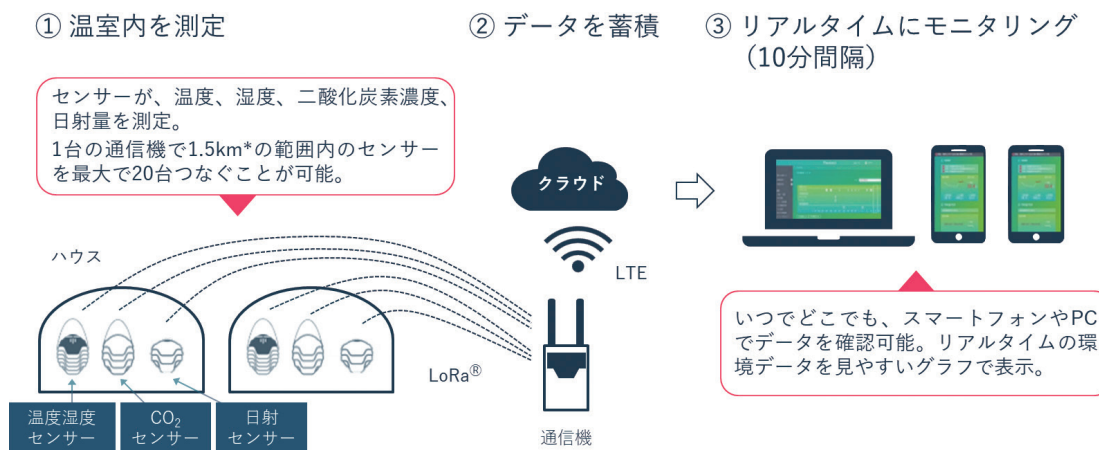


図1. プランテクト[®]の概要

2. 防除体系における活用場面

総合防除の体系においては、「予防的措置」、「判断」、「防除」の3点の取り組みを行うことが基本であるとして、総合的病害虫・雑草管理(IPM)実践指針において、以下のように述べられている。

- ① 輪作、抵抗性品種の導入や土着天敵等の生態系が有する機能を可能な限り活用すること等により、病害虫・雑草の発生しにくい環境を整えること
- ② 病害虫・雑草の発生状況の把握を通じて、防除の要否及びそのタイミングを可能な限り適切に判断すること
- ③ ②の結果、防除が必要と判断された場合には、病害虫・雑草の発生を経済的な被害が生じるレベル以下に抑制する多様な防除手段の中から、適切な手段を選択して講じること
(総合的病害虫・雑草管理(IPM)実践指針, 農林水産省)

本システムは総合防除を支援することを目的としており、総合防除の中では、

- ① 「予防的措置」のために、センサーによる環境のモニタリングを行うことで、病害の発生し難い環境管理を行うこと
- ② 「判断」のために、主要病害発生予測AIによる総合的病害予測を活用することができる(図2)。
- ③ 「防除」においては、薬剤散布記録に応じて表示される薬剤の耐性菌リスクや、「おすすめの農薬」リストを活用することができる(図2)。これらに限らず、従来の耕種的対策や最近の技術も組み合わせる総合防除を実践していくことが重要である。

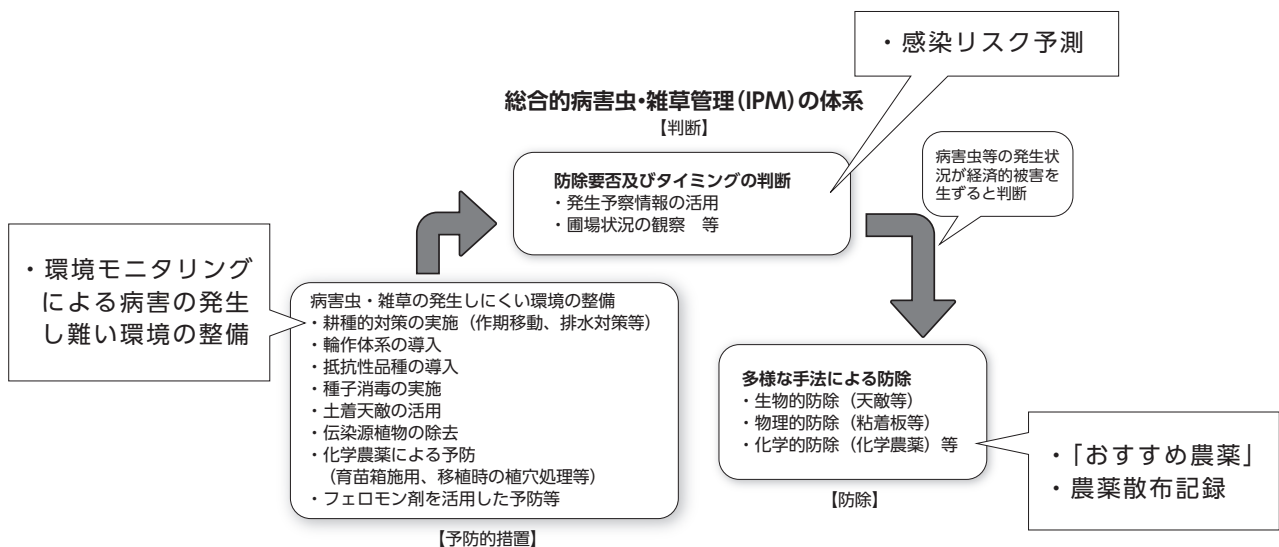


図2. 農林水産省の示す総合防除におけるプランテクト[®]機能の位置づけ
(総合的病害虫・雑草管理(IPM)実践指針, 農林水産省.)の図に加筆

これらのことにより、本システムを利用するメリットは次の通りと考えている。

- ① **品質と収量の向上** : 蓄積されたデータや病害予測機能の活用により収量の増加・安定化や品質向上をサポートする。
- ② **労力とコストの削減** : 適切な農薬散布タイミングを個別環境に応じて通知。農薬の散布回数やコストの削減が期待できる。
- ③ **精神的負担の軽減** : いつでもどこでもハウス内環境を確認でき、見回りの回数を削減できる。仲間とのデータ共有も可能である。

3. AI発病予測システムとその使い方

1) 感染リスクの見方

植物が病原菌に感染してから、潜伏期間を経て発病し、病斑(病徴)が現れる(図3)。プランテクト[®]が表示している「リスク」は感染のリスクである。これによって発病のリスクを感染のタイミングで示している。病害の被害を効果的に抑えるためには、感染前や感染が起こりやすい環境になったときに対策を実施することが重要である。詳細はプランテクト[®]紹介サイト「病害予測機能」*を参照のこと。

注*) <https://cropscience.bayer.jp/ja/home/plantect/disease.html>

■ 感染から発病まで

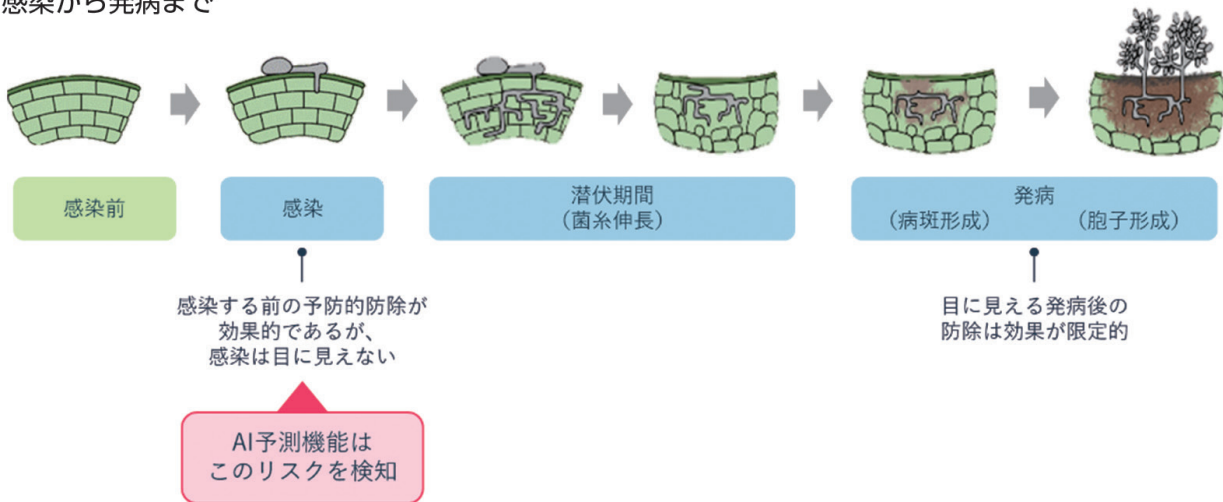


図3. 植物の空気伝染性病害の感染から発病までの経過

プランテクト[®]は、5日先までの感染リスクを3段階(低・中・高)及び発病する確率(病気に感染し、潜伏期間を経て発病する確率)を合わせて表示する(図4)。3段階のリスクレベルは概ね以下の確率を目安に定義しているが、表示頻度なども考慮し病害毎に異なる。

高リスク：40%以上

中リスク：20%~40%

低リスク：20%以下 (2022年7月時点)

病害感染リスクが高くなった時には、利用者のアプリやメールに警報が届く。



図4. 感染リスク画面

2) 作付け情報について

プランテクト[®]では作付け情報として「作物名・品種・栽培密度・栽培方法・作付け開始日・収穫開始日・収穫終了日」を入力する(図5)。どの項目も感染リスク算出に用いられており、間違った入力では正しい感染リスク算出が出来ないため、正しい入力が必要である。特に、収穫開始日・収穫終了日は変動することが想定されるため、注意が必要である。

今期の作付け情報

以下の情報は、病害感染リスクの予測の精度向上に使用されます。
ハウス: PAA2 Tomato

作物名*: ミニトマト

品種: CFココ

栽植密度: 1800 株/10a

栽培方法: 土耕栽培

より正確な日付を更新してください。

作付け開始日*: 2019/05/27

収穫開始日*: 2019/07/01

収穫終了日*: 2020/04/30

図5. 作付け情報画面

3) 薬剤散布記録について

利用者は散布した薬剤をプランテクト[®]に記録することができる。過去の防除記録として活用できる。薬剤記録はプランテクト[®]内の以下の機能でも活用されているため逐次記録することが望ましい。

- ・ 散布した薬剤の耐性菌リスクが表示される。
- ・ 感染リスクが薬剤散布記録を考慮して算出される。
- ・ 「おすすめ農薬」表示機能において、過去の散布農薬として考慮される。

4) 病害発生記録について

利用者は発生した病害をプランテクト[®]に記録することができる(図6)。薬剤散布記録・病害発生記録を継続的に使用することによりデータが蓄積されるため、過去の作の振り返りや次作の防除計画に役立てることが可能である。また、感染リスクは病害発生記録を考慮して変化するため、栽培期間中に発生した病害をまとめて記録するのではなく、病気の発生を見つけた時に逐次記録することが望ましい。記録は発生した部位に関わらず、新たに病気が発生したとき、及び病斑の数が増えたとき実施することが推奨されている。ただし、感染リスク推定では多くとも1週間に1度程度の記録が想定されており、それより多い頻度で記録しても感染リスクは変化しない。

散布日	農薬名	FRACコード	耐性菌リスク
21/10/14	アミスター20フロアブル	11	⚠
21/8/3	ゲッター水和剤	1, 10	⚠
21/6/8	ポリオキシ剤		
21/4/20	あめんこ10		
21/3/16	ジャストミート顆粒水和剤	12, 17	

発生日	病害名	備考
21/10/14	灰色かび病	
21/8/3	すすかび病	
21/6/8	うどんこ病	
21/4/20	灰色かび病	
21/3/15	葉かび病	

図6. 農薬散布記録・病害発生記録画面

5) リスク表示後の対応について

病害は「主因」、「素因」、「誘因」の3つの要因が重なることで発生するが、プランテクト®の発病予測は主に「誘因」（一部「素因」）を用いて感染リスクを算出している。リスクが高まったときは利用者が作物の状態などを観察し、薬剤散布の検討や環境制御実施の判断をする必要がある。慣行防除法は多くの研究と長年の経験を基礎とした体系であることから、慣行防除の考え方とAIによる予測を組み合わせることが有効である。本プロジェクトで実施した実証試験では事前に薬剤散布判断のルールを定め、リスクに従って機械的に薬剤散布を実施し効果を検証することから始めた。実証試験によって事例が積み重なるにつれて、それぞれの地域の慣行防除技術の背景にある病気の発生生態に関する経験や知見（人の判断や過去の発生歴）などを考慮することでより適時的で経済的に効果のある判断が出来るようになることが明らかになった（図7、第2編参照）。以下にその例を示す。

- ・ 一般に初発発生前に予防的な薬剤散布することが重要であり、初発前にリスクが高まった場合には積極的に薬剤散布を検討する。
- ・ 地域における例年の初発時期から潜伏期間遡った日を散布開始日と定め、それ以前にリスクが高まった場合でも薬剤散布を実施しない。
- ・ 作の末期において、病害が発生しても収量に影響を及ぼさないと判断できる場合には薬剤散布を行わない。（経済的許容水準を考慮する）
- ・ 実証試験における基本的な散布目安は、農薬の残効が失われた場合において、高リスク1回または中リスク累積3回で、散布を推奨することとした。ただし、果実に発生する病害の場合には、主に葉に発生する病害よりも経済的損失が大きいため、一層まん延防止に努めることとした。
- ・ プランテクト®は薬剤散布記録で記録された農薬の効果を考慮してリスクを算出しているが、実際の散布の際には利用者自身も前回の薬剤散布の残効期間などを考慮することが必要である。
- ・ リスクが高い状態が継続する場合は、環境を整えるか、指導機関や専門家に相談する必要がある。

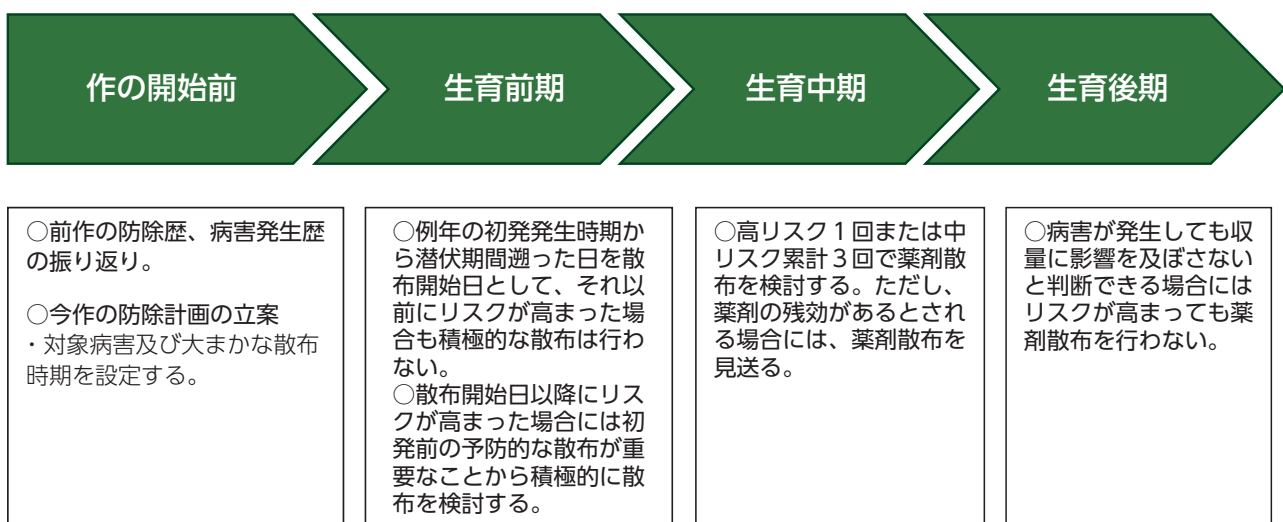


図7. 薬剤防除におけるプランテクト®の活用方法例

6) 「おすすめ農薬」機能について

プランテクト[®]では病害発生記録・感染リスクをもとに、防除効価及び残効期間を考慮し効果が期待できる農薬を「おすすめ農薬」として情報を提供している(図8)。この「おすすめ農薬」は以下を考慮して表示される。実際の使用にあたっては、利用者が薬剤の注意事項等を確認し薬剤散布を実施する必要がある。

- ・直近の病害発生記録に病害発生の記録がある、もしくは感染リスクが高い病気に対応した農薬
- ・薬剤散布記録を参照し、剤および含まれる有効成分の使用回数を超えない農薬
- ・前回散布された農薬とは異なるFRACコードに属する農薬



図8. 「おすすめ農薬」画面

※バイエルクロップサイエンス「おすすめ農薬」機能には次の免責事項がある。参考までに添付する(図9)。

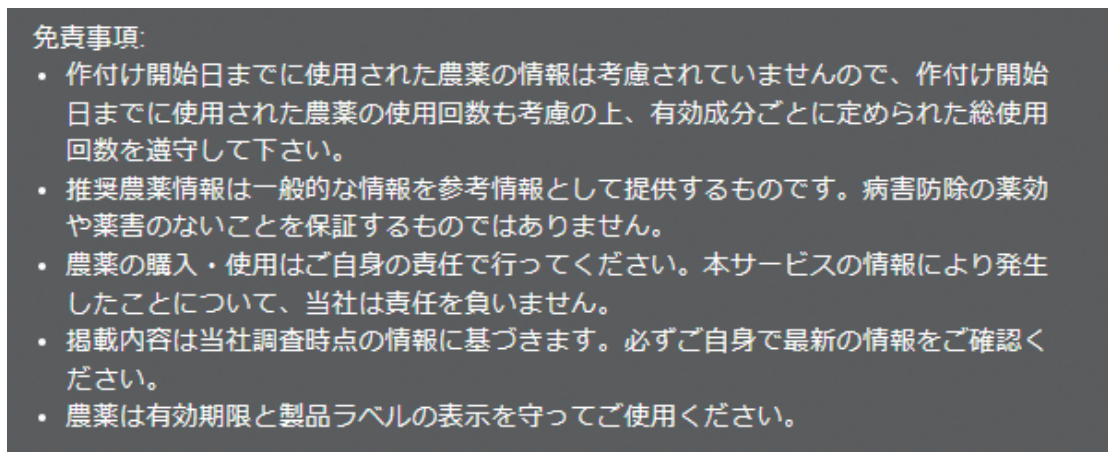


図9. 「おすすめ農薬」免責事項の画面

7) コミュニティでの活用方法

プランテクト[®]の「ハウス情報の共有」機能では、ハウス情報を他の人達と共有することが可能である(図10)。この機能は以下のようなケースを想定している。

- ・地域の生産者のコミュニティでデータを共有し、自身のハウスと他ハウスの環境データを比較する。
- ・農業改良普及員や営農指導員などの農業技術者や指導員とデータを共有し、収量向上や病害虫対策のアドバイスを受ける。

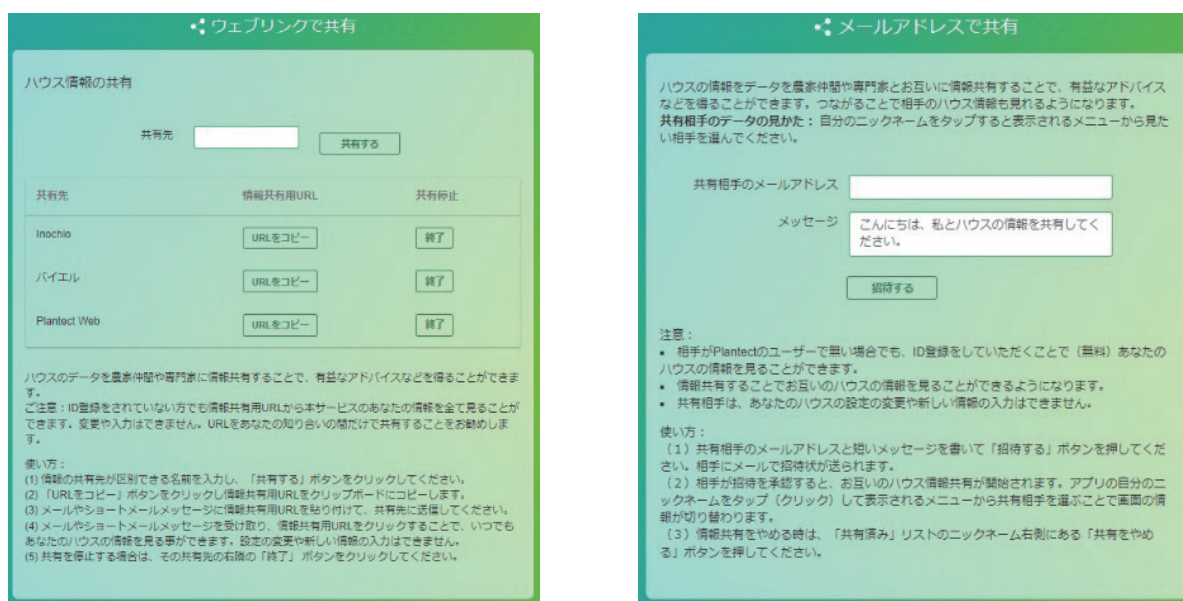


図10. ハウス情報の共有画面

「ウェブリンクで共有」では、共有するリンクを作成することによりデータが閲覧可能である。共有先の相手はプランテクト[®]ユーザーである必要はない。

「メールアドレスで共有」の機能では共有先の相手もID登録が必要になる。この機能を用いることにより、共有先の環境データとの詳しい比較などが可能である。

8) 使用上の留意点として次のことがある。

最大で過去400日までのデータを見てリスクを推定している。また、病害を記録することでモデル更新時にそのデータを学習するため、継続的に利用することで予測精度向上が期待できる。そのため、導入後1~2年間は特にAIの学習期間及び各ほ場に有用な使用方法を検討する期間と位置付けるのが望ましい。

提示される感染リスクは、AIの学習に用いた過去の全データの中の平均的な菌密度、平均的な植物の健康状態を想定したときの、感染の確率を示している。したがって、栽培方法が慣例から極端に外れる場合や、AIの学習に用いられなかったデータ範囲(未学習領域)に対しては、リスクが低すぎるか高すぎるような表示が出る可能性がある。

また、感染リスク予測表示を重視した防除に偏りすぎるがために、予測対象外の病害虫への注意が疎かになることで、それらによる被害を受けることがないよう、留意が必要である。

4. 病害予測の原理

1) 概要

機械学習により、過去の病害発生データを用いて感染したと推定される日の特徴を学習し、モデルを構築する(図11:「病害発生データの収集」)。構築した機械学習モデルを用いてハウス毎に過去の感染リスク推定、将来の感染リスク予測を実施する(図10)。

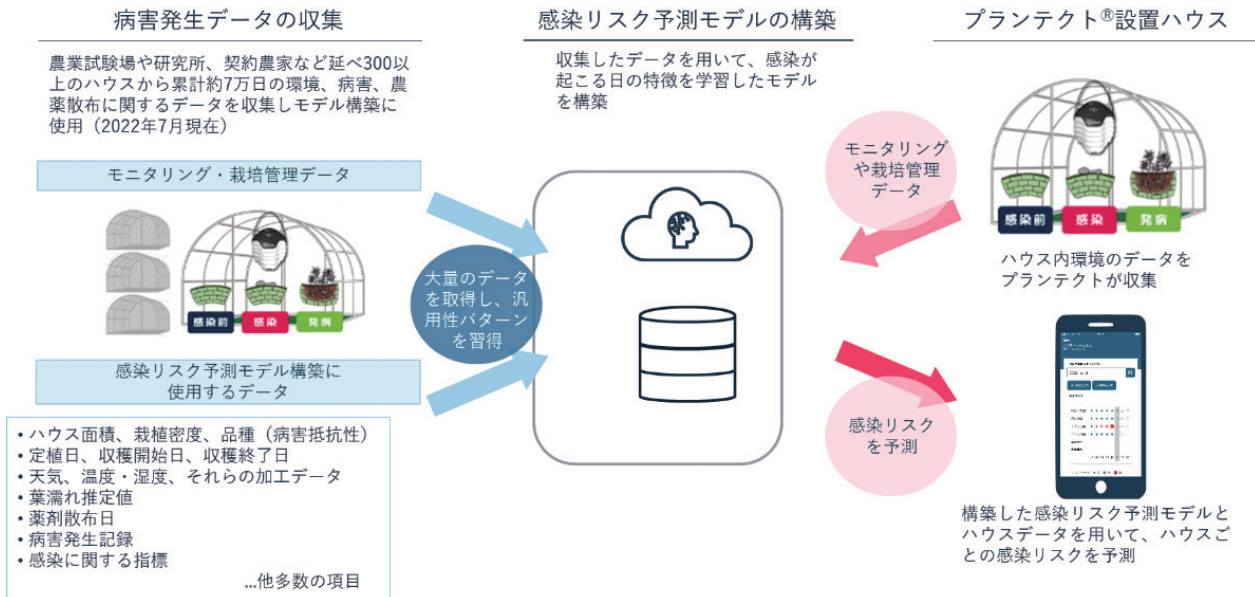


図11. 病害発生予測(感染リスク予測)システムの概要

2) データ収集

機械学習モデル構築のため、作付け情報、薬剤散布記録、病害発生記録、環境データ(温湿度データ)を収集した。品質の高いモデルを構築するためには信頼性の高いデータのみを使用することが重要であるが取得した全てのデータを対象にするのではなく、適切なフィルタリングを実施し、モデル構築に使用するデータを限定している。また、広範囲のハウスからデータを収集することで構築したモデルがいずれの地域でも使用できるよう配慮されている。延べ300以上のハウスから累計約7万日のデータが収集された(2022年7月時点)。

3) 特徴量エンジニアリング

機械学習では、取得したデータのみを用いて機械学習モデルを構築するのではなく、適切なパラメータ(特徴量)を作成しモデル構築に使用することで予測精度が向上することが知られている。本プロジェクトでは、感染の環境(温度、湿度、葉濡れ値など)反応性について実験を行った(第3編参照)。得られた試験データと環境データ(温湿度データ)から新たに感染好適条件下で反応するパラメータ(特徴量)を作成し、機械学習モデルに使用した。図12に示すグラフはキュウリ褐斑病を対象に温度-菌糸生育の関係性を調査したものである。このグラフから温度と菌糸生育の関係を表す近似曲線を作成した。機械学習モデル作成時及び感染リスク推定時には、温度センサーから得られた時系列温度データと近似曲線を用いて感染に好適な温度条件に反応する新たなパラメータ(特徴量)を作成した。

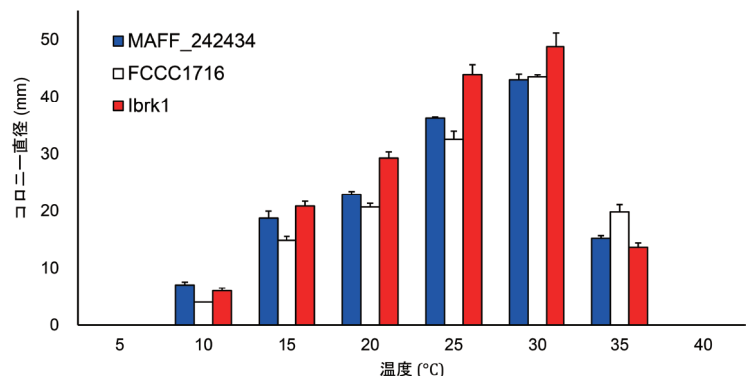


図12. キュウリ褐斑病菌の生育に対する温度応答に関する特徴量作成の例(温度-菌糸生育の関係性より)

図12に示すグラフはキュウリ褐斑病を対象に温度-菌糸生育の関係性を調査したものである。このグラフから温度と菌糸生育の関係を表す近似曲線を作成した。機械学習モデル作成時及び感染リスク推定時には、温度センサーから得られた時系列温度データと近似曲線を用いて感染に好適な温度条件に反応する新たなパラメータ(特徴量)を作成した。

4) 感染日推定

感染リスク値を推定する機械学習モデルを構築するためには、感染日を推定することが必要であるが、感染日を肉眼で確認することは困難である。そこで、収集した病害発生記録日から潜伏期間(病気毎に定義)を遡った日を感染候補日としてラベリングした。その後MISVM(マルチインスタンスサポートベクトルマシン)を用いて感染候補日となる日の特徴を学習させ、各病害発生記録日に対応した感染日を推定した。

5) 感染推定モデル構築

推定した感染推定日及び感染が起きていないと推定される日の感染の有無を目的変数とした予測モデルを構築した。構築したモデルにより、感染推定日とそれ以外の日を、特徴量を用いて類別する方法が学習される。(構築される決定木のイメージを図13に示す。実際の特徴量及びそのしきい値については省略) 実際に使用する感染推定モデルには、XGBoost(決定木勾配ブースティングアルゴリズム)を使用している。

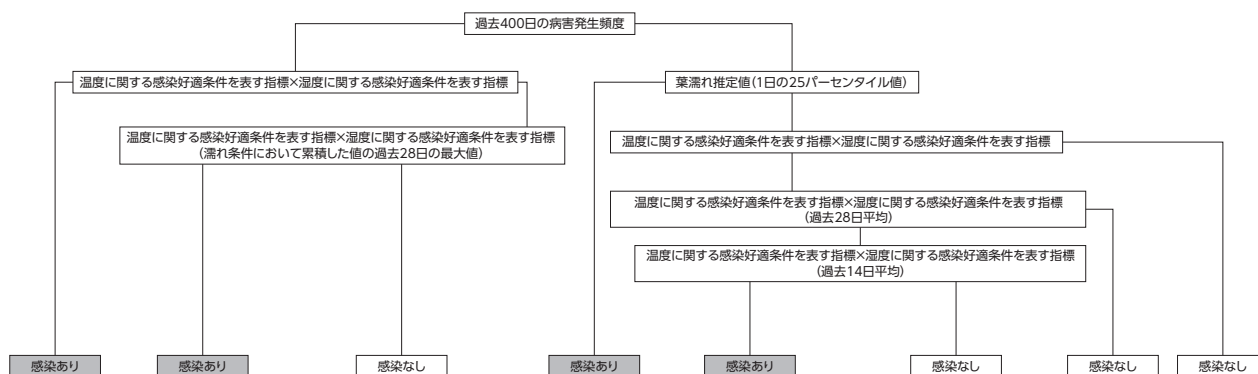


図13. 感染日を分類する決定木の例

6) 過去の感染リスク推定、将来の感染リスク予測

前日までの過去の感染リスク推定には環境データ(温湿度データ)としてセンサーデータの測定値が使用される。一方で、利用者の利便性を考慮すると過去の感染リスクだけでなく、将来の感染リスクが表示されることが望ましい。そこで、個々のハウスに対して過去のセンサーデータと天気予報データの関係性を学習するハウス環境予測モデルを作成した。作成したハウス環境予測モデルと(将来の)天気予報データを用いて将来の環境データ(温湿度データ)の予測値を算出し、それを感染推定モデルの入力値として用いることで将来の感染リスク予測を実施している。

引用文献

- ・農林水産省 「総合的病害虫・雑草管理(IPM)実践指針」(2022年12月2日閲覧)
https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/gaicyu/g_ipm/pdf/byougai_tyu.pdf