

「葉面濡れセンサーで計測した葉面濡れ時間、誘電率といもち病の感染について」

菅原直人・小林隆・長谷修(山形大学)・菅野洋光(中央農研)・大久保さゆり(東北農研)・神田英司(鹿児島大)・山崎剛(東北大学)

イネいもち病

病原菌 : *Magnaporthe oryzae*

- 世界のイネ栽培地域で問題となっているイネの重要病害.
- イネの生育期間を通じて葉や穂に発生する.
- 葉いもちに感染すると葉に病斑が形成され、その後抽出する葉や分けつが短くなる.
- 葉いもち病斑上で形成された胞子が穂いもちの直接的伝染源となる.
- 穂いもちに感染すると穂が白穂となり、登熟が阻害されることで収量が減少する.
- ヤマセが吹くといもち病が発生しやすい.



葉面の結露と葉いもち



穂いもち

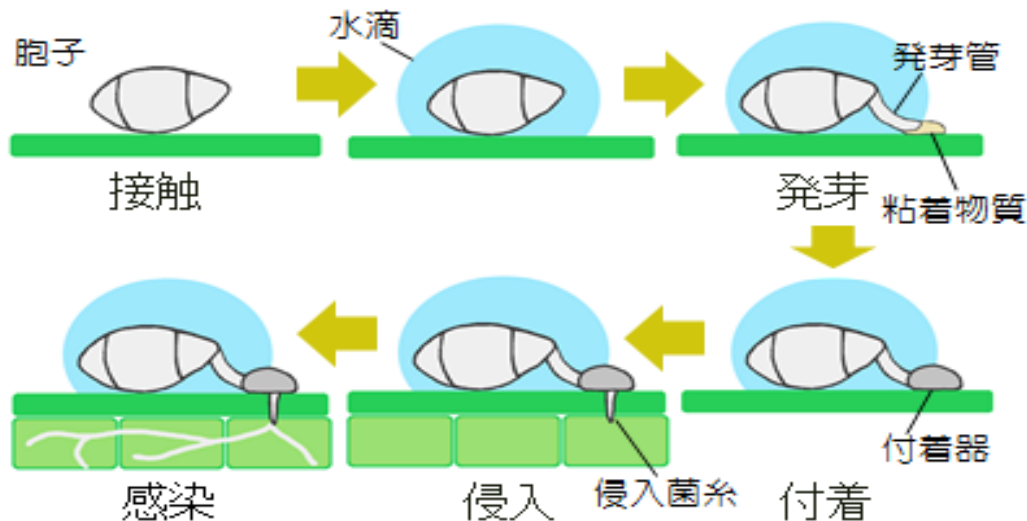
イネいもち病菌の侵入と感染

イネ体上に付着した胞子が適当な温度と水滴条件がそろふことにより水滴中で発芽して発芽管を伸ばし、発芽管の先端に形成した付着器下面から細い侵入糸を出すことで細胞表皮を貫通してイネ体に侵入し、感染する。



いもち病の感染が成立するには胞子の存在と結露が必要

イネ体の結露時間を測定することはイネいもち病の発生予察を行う上で非常に重要



背景①: BLASTAMによる発生予察①

- 現在, いもち病の発生予察には, 葉いもち発生予察システムBLASTAM (**B**last: いもち病の英名 + **A**MeDAS: 気象庁のアメダスを合わせた造語) が利用されている.
- BLASTAMはアメダスデータ (**降水量, 気温, 日照時間, 風速**) をもとに, 葉面結露時間を推定している (越水, 1988).
- 気温が15-25°Cの範囲で, 推定した葉面結露時間が17-10時間を超えると葉いもちの感染に好適であると予測される.
- 気温が低下するほど感染に好適と予測される葉面結露時間が長くなる (25°Cでは10時間, 15°Cでは17時間).
- 基本的に16:00-07:00の葉面結露時間を推定しているが, 07:00以降も結露が継続している場合は結露時間が延長される.

背景①: BLASTAMによる発生予察②

- 強雨条件下ではイネ体上からいもち病菌の胞子が流亡し感染が成立しないことから、**1時間4mm**以上、**3mm2時間**以上の降水量が記録されると結露時間が無効とされる。
- 風速が強いと葉面結露が維持されにくいことから、**4m/s**以上の風速が記録されると結露時間が無効とされる。

背景①: BLASTAMによる発生予察③

BLASTAM の問題点

- アメダス観測地点が稲作地帯とは無関係に配置されており、観測地点から遠い地域では葉いもち発生の予測が難しい。
- アメダスは葉面結露時間や湿度を測定しておらず、BLASTAMの葉面結露時間は降水量、日照時間、風速の3要素から推定したもので、精度が高くない場合もある。



結露計を設置し、葉面結露時間を測定することで、
いもち病発生予察の精度が向上する

背景②：従来の結露計

- 葉面結露時間の測定には濾紙重量式結露計(西衡器製作所)が用いられてきた。
- 葉面が結露すると濾紙も結露して重くなるとみなし、濾紙の重量で結露状態を評価する(橋本, 1976)。



濾紙重量式結露計

濾紙重量式結露計の問題点

- 薬剤や肥料が付着し結露以外の条件で濾紙が重くなる。
- 強雨や強風で濾紙が破損することがありメンテナンスに労力がかかる。
- コストが高い。
- 製造が中止された。

背景③：近年開発された葉面濡れセンサー (LWS: LEAF WETNESS SENSOR)

- 2007年に開発された電子式葉面結露センサー (Decagon Devices, 2007) .
- センサーが測定範囲の誘電率に比例したV信号を出力することで結露状態を評価し、水分量が多いほど出力されるV信号が高くなる.
- 省電力であるため長期間の測定が可能.
- メンテナンスが容易で、コストも比較的安い.
- 熱的、放射的に実際の葉の特徴を模しており、果樹や畑作物の結露評価に用いられている.



葉面濡れセンサー
(LWS)

背景④：湿度による結露時間の推定

【葉面濡れセンサーによる結露時間の推定】

- 葉面濡れセンサーは電圧の変化で結露を表すことから、結露期間と非結露期間を判定するための境界となる**結露基準**を設定する必要がある。
- LWSでは計測した値が**0.284v**を超えると結露とみなし、この値を継続して超えている期間を結露時間として評価。

【相対湿度による結露時間の推定】

- アメリカの研究では、相対湿度**90%**以上を結露基準とし、相対湿度(RH)が90%以上を継続して超えている期間を葉面結露時間とした結露時間が、結露計で推定した葉面結露時間と高い相関を示した(Sentelhas et al.2008)。

目的

- 葉面濡れセンサー(LWS: Decagon Devices, Inc.)を用いて計測したイネ体葉面結露時間といもち病発生との関係を調査し, 葉面濡れセンサーがイネいもち病発生予察に利用可能かどうか検討する.
- 葉面濡れセンサーで推定された葉面結露時間と, 湿度をもとにした結露時間の精度を比較する.

実験方法

【供試品種】: はえぬき

【供試菌株】: 長69-150(レース007)

- アメダス鶴岡観測所である山形大学農学部圃場(畑地圃場)と山形大学高坂圃場(水田圃場)に葉面濡れセンサーと温湿度計を設置し、v信号, 温度, 相対湿度(RH)を計測した.
- 日没後, いもち病菌を接種したイネ体をセンサー近傍の屋外に日の出まで静置した.
- 接種2週間後にイネいもち病の被害度を調査し, 接種後の結露条件とイネいもち病被害度の関係を検討した.
- 葉いもちでは1株当たりの病斑数を算出し, 穂いもちでは罹病率(罹病粒数/罹病粒数+健全粒数 × 100)を算出してイネいもち病の被害度を評価した.

	試験圃場	試験年
葉いもちポット試験	山形大学農学部圃場(畑地圃場): 北緯38度74分, 東経139度83分	2013-2015
穂いもちポット試験	山形大学農学部圃場(畑地圃場): 北緯38度74分, 東経139度83分	2013-2015
穂いもち圃場試験	山形大学高坂圃場(水田圃場): 北緯38度70分, 東経139度82分	2015

ポット試験：曝露試験



いもち病菌

- いもち病菌の孢子懸濁液をイネ体に噴霧接種
- ↓
- センサー近傍にイネ体を移動
- ↓
- 翌朝、イネ体を温室に移動
- ↓
- 2週間後、病斑数または罹病粗率を調査

※夜間から日の出までの間に結露が発生しやすいため、日没後に接種し、翌朝までの結露状態をセンサーで計測



温湿度計

葉面濡れセンサー

接種直後のポット生育イネ

圃場試験



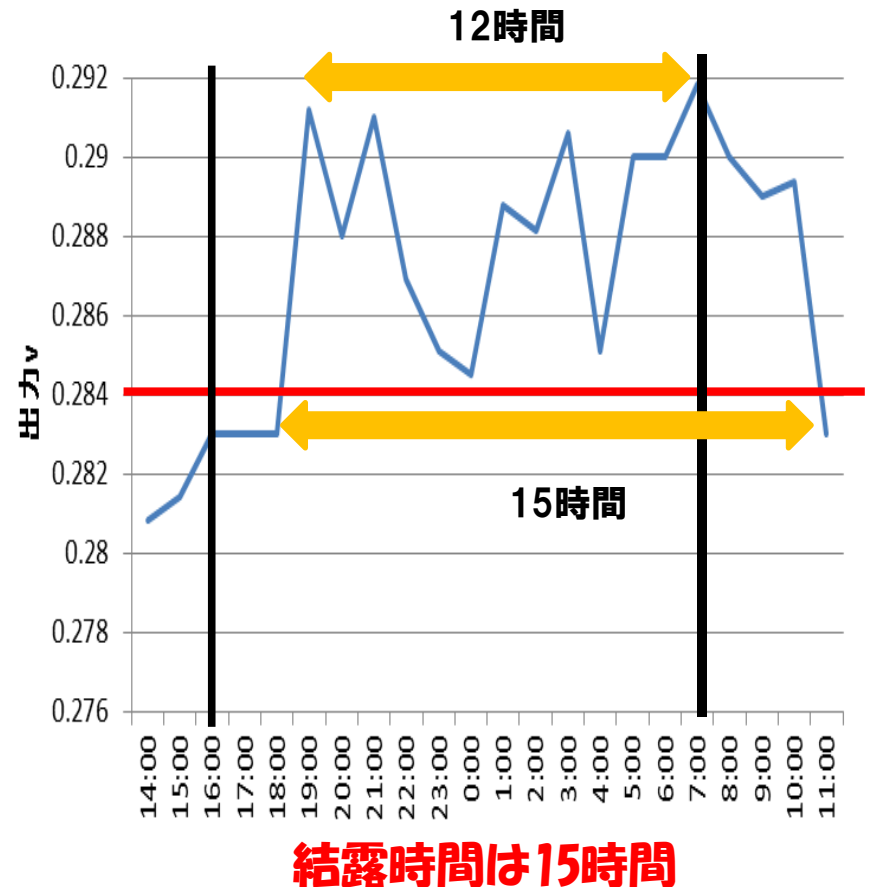
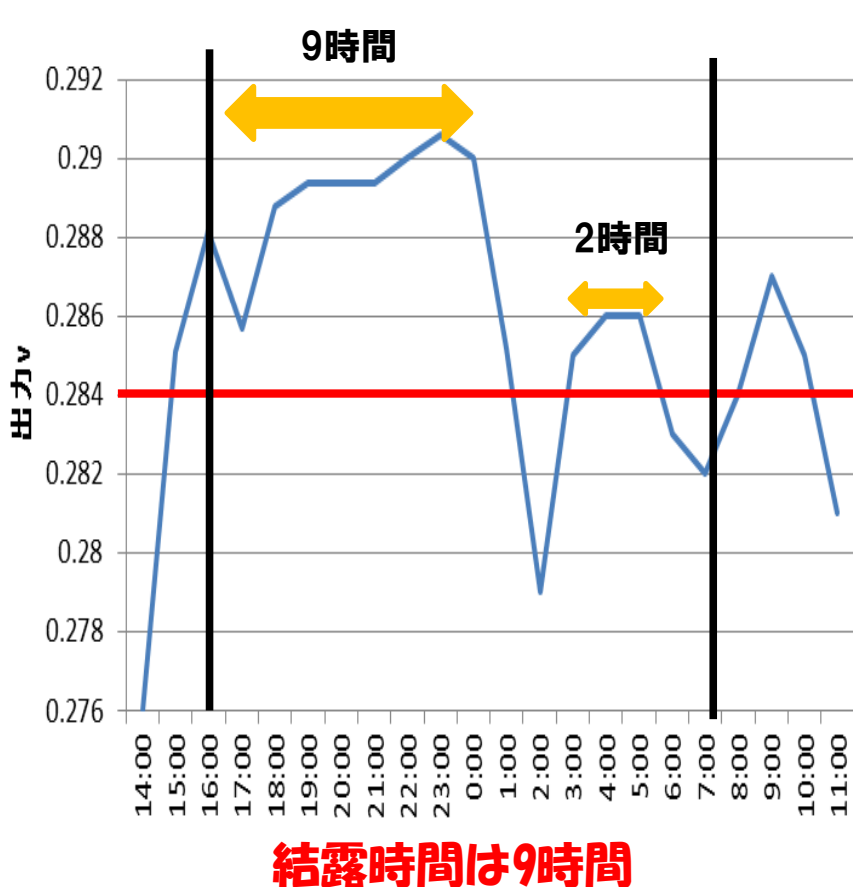
水田圃場に設置したセンサー



接種直後の圃場生育イネ

葉面濡れセンサーの解析基準

- 計測した値が**0.284v**を超えると結露とみなし、この値を継続して超えている期間を結露時間とした。
- 計測期間は16:00-07:00を対象とした。例外として結露が07:00以降も継続している場合は、超過時間を結露時間に加味した。



評価項目

- **結露時間**

計測値が0.284vを継続して超えている期間を結露時間とした。

- **平均v**

16:00-07:00期間中に計測されたv値の平均値。

- **平均湿度**

16:00-07:00期間中に計測された相対湿度の平均値。

- **RH結露時間**

計測した湿度の値が90%を継続して超えている期間をRH結露時間とした。

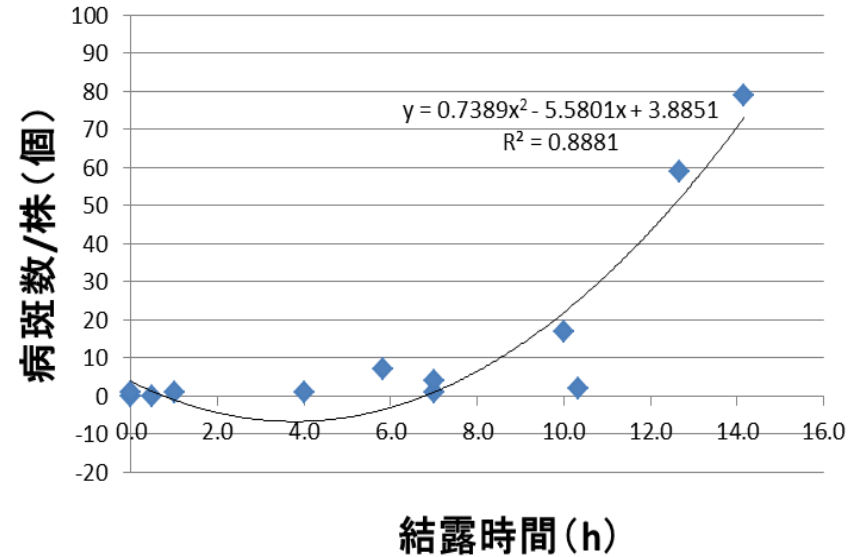
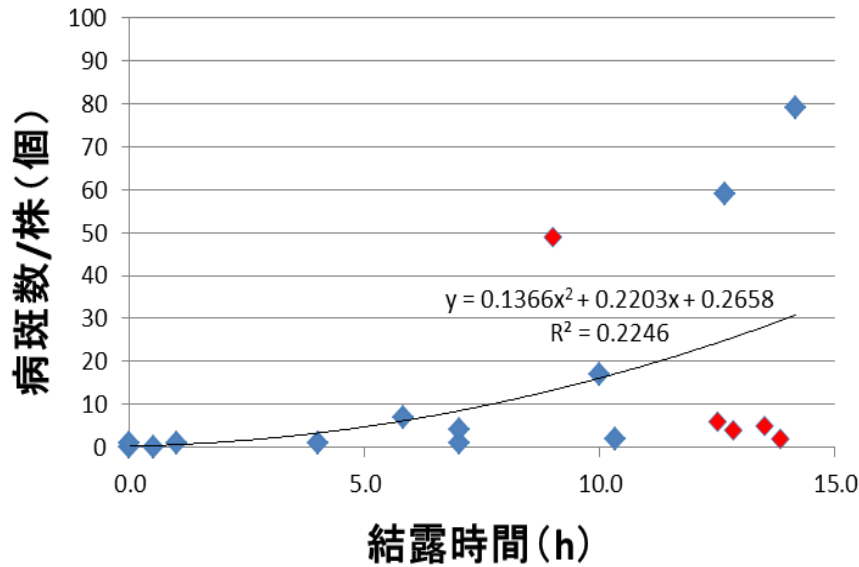


以上の項目と葉いもち病斑数, 穂いもち罹病率との関係を相関分析を行い評価した

ポット試験の評価における注意事項

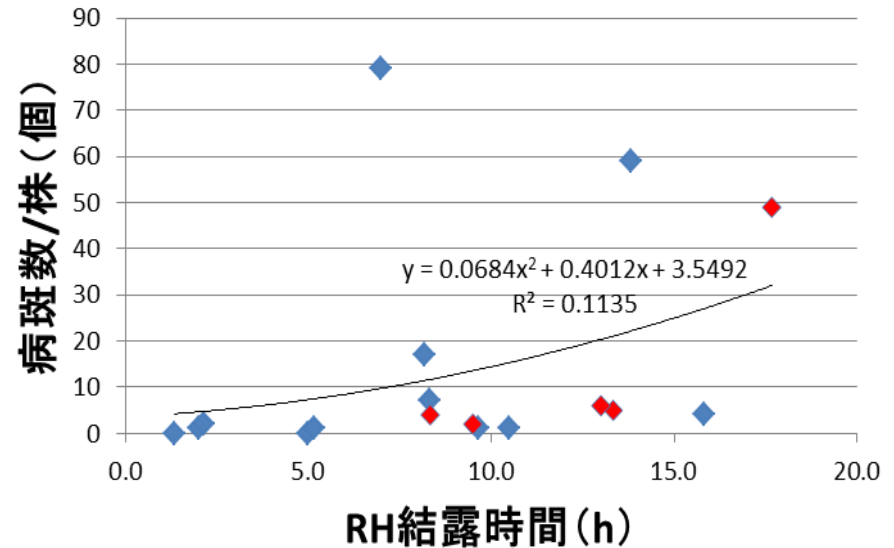
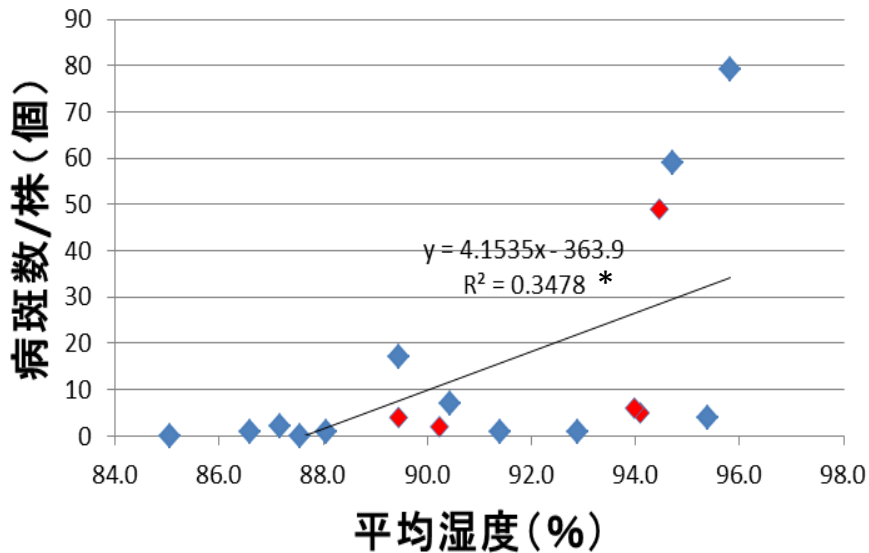
- 2013年の試験では供試土壤に**育苗培土**を用いり、2014, 2015年の試験では**水田圃場**の土壤を用いて試験を行った。
- 2013年の試験は窒素濃度が高いため、葉いもち試験、穂いもち試験の結果は**単年のデータ**で評価した。
- 2014, 2015年の試験では葉いもち試験、穂いもち試験ともに**2年分のデータ**をまとめて評価した。

結果：2013年に試験した葉いもちポット試験における葉いもち発生と葉面結露時間の関係



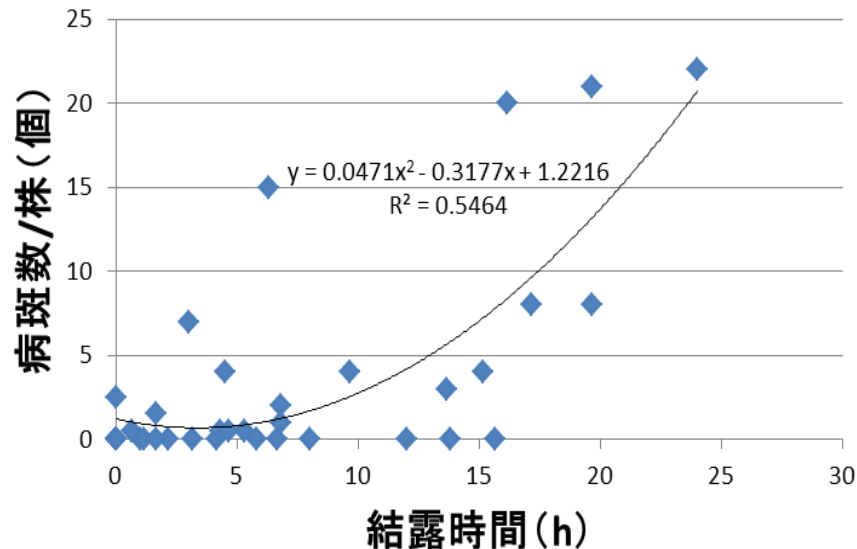
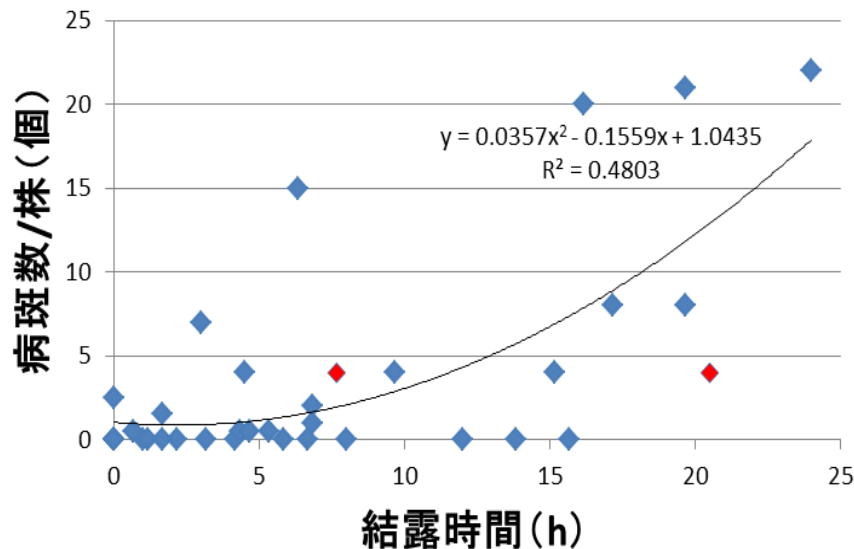
- 接種後の葉面結露時間と葉いもち病斑数の相関は低かった。
- 強雨条件下ではイネ体上からいもち病菌の胞子が流亡し、感染が成立しないことから、計測期間中の最大vが1.5vを超えた日を除いて検討したところ、相関が高くなった。
- 接種後の結露時間が8時間を超えると病斑数が増加する傾向がみられた。

結果：2013年に試験した葉いもちポット試験における葉いもち発生と平均湿度，RH結露時間の関係



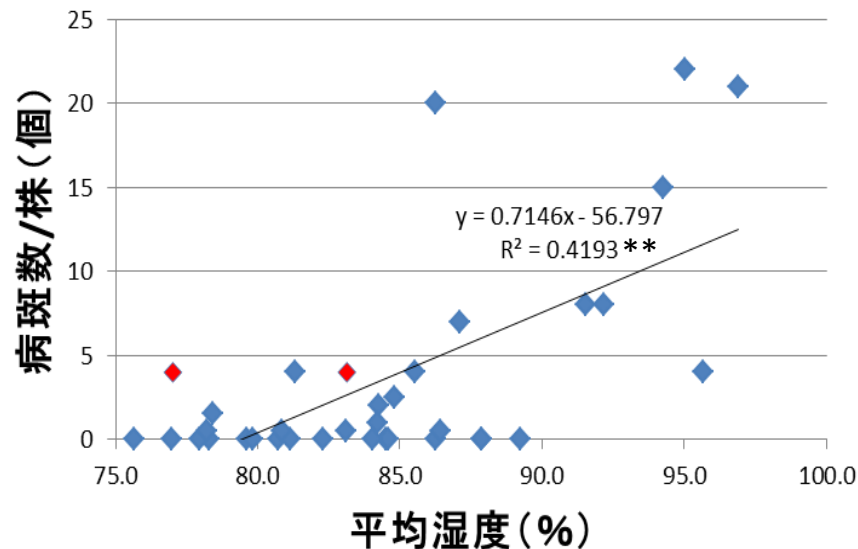
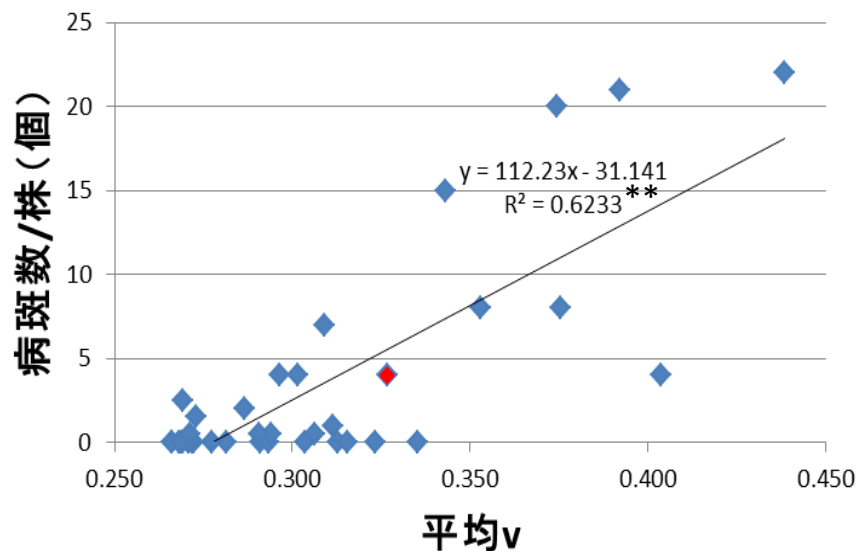
- 平均湿度の増加とともに病斑数が増加した。
- 葉いもち発生とRH結露時間の寄与率は0.1135であり，相関が低かった。

結果：2014,2015年に試験した葉いもちポット試験における葉いもち発生と結露時間の関係



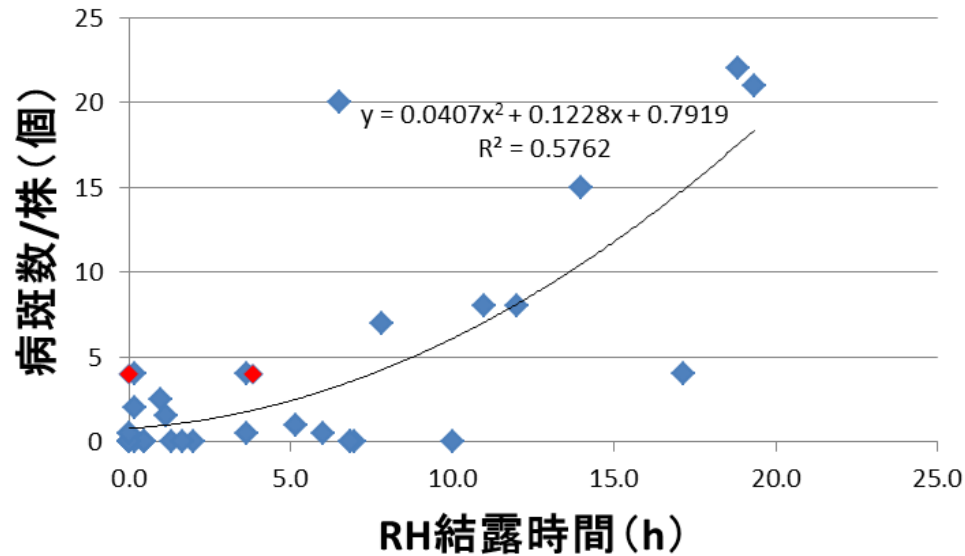
- 計測期間中の最大 v が**1.5 v** を超えた日を除いて検討したところ、相関が高くなった.
- 接種後の結露時間が**10時間**を超えると病斑数が増加する傾向がみられた.

結果：2014,2015年に試験した葉いもちポット試験における 葉いもち発生と平均v, 平均湿度の関係



- 平均vの増加とともに病斑数が増加し,平均vが0.343vを超えると全ての植物体で病斑が発生した.
- 平均湿度の増加とともに病斑数が増加した.

結果: 2014, 2015年に試験した葉いもちポット試験における 葉いもち発生とRH結露時間の関係

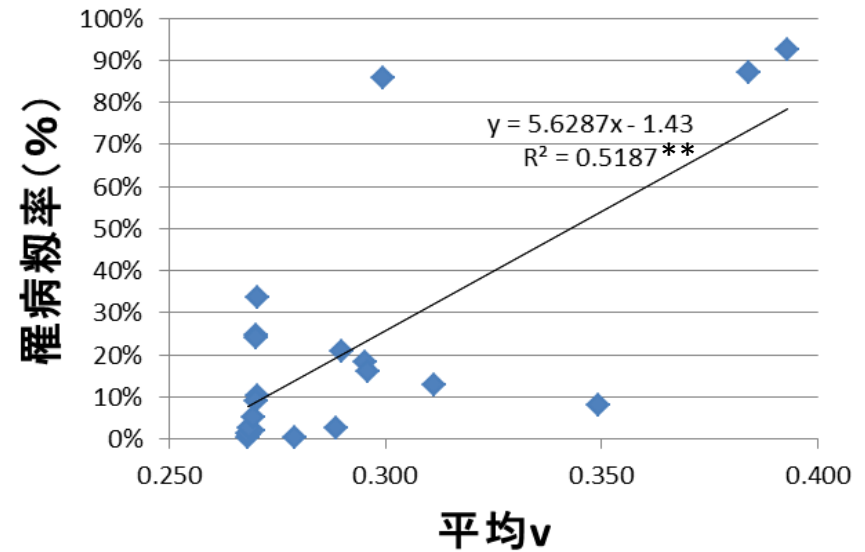
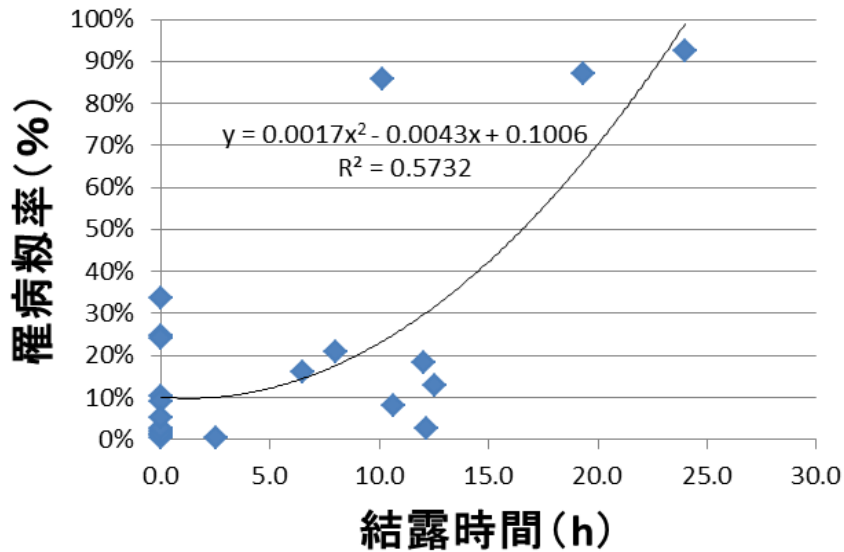


- RH結露時間が**7時間**を超えると病斑数が増加する傾向がみられた。

まとめ：葉いもち試験

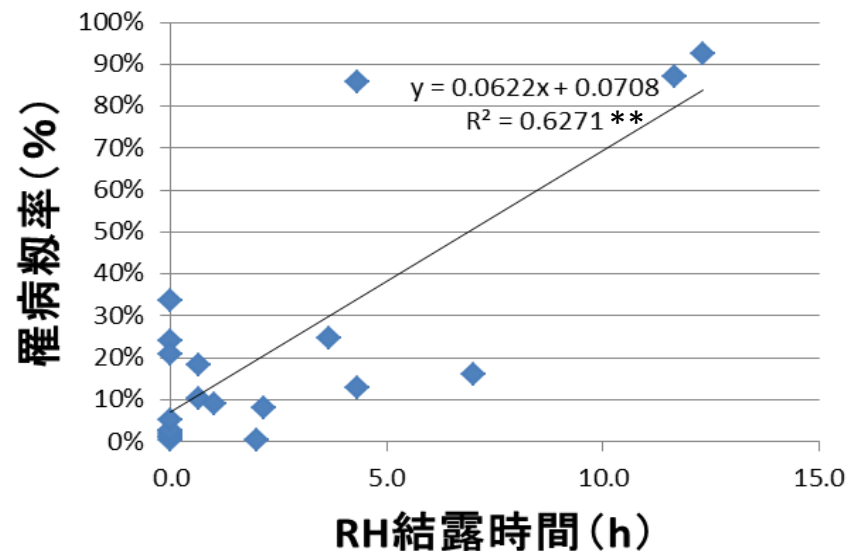
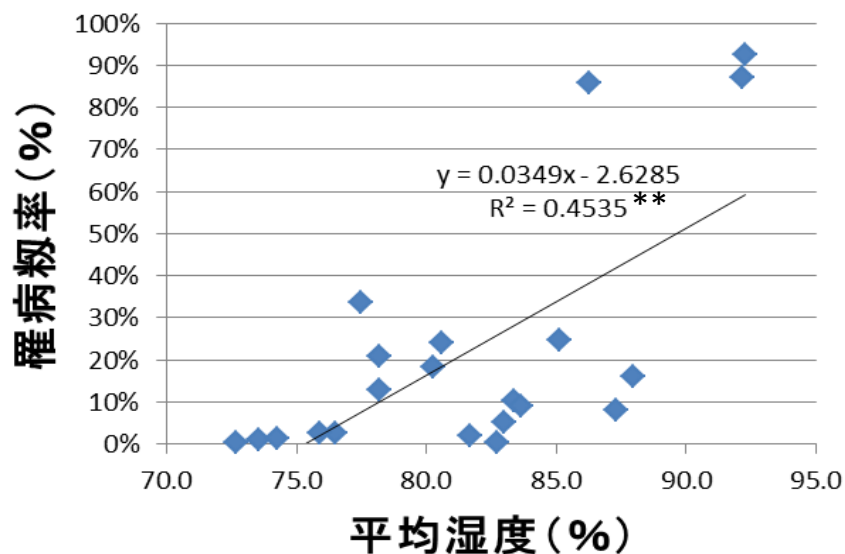
- 結露時間**10時間**，平均 v **0.343v**，RH結露時間**7時間**を超えると病斑数が増加する傾向がみられた。
- 2013,2014年の試験では，最大 v が**1.5v**を超えた日を除くと結露時間と葉いもち発生との相関が高くなった。
- 2013年の試験では，RH結露時間と葉いもち発生との相関は低かった。

結果：2014,2015年に試験した穂いもちポット試験における穂いもち発生と結露時間,平均vの関係



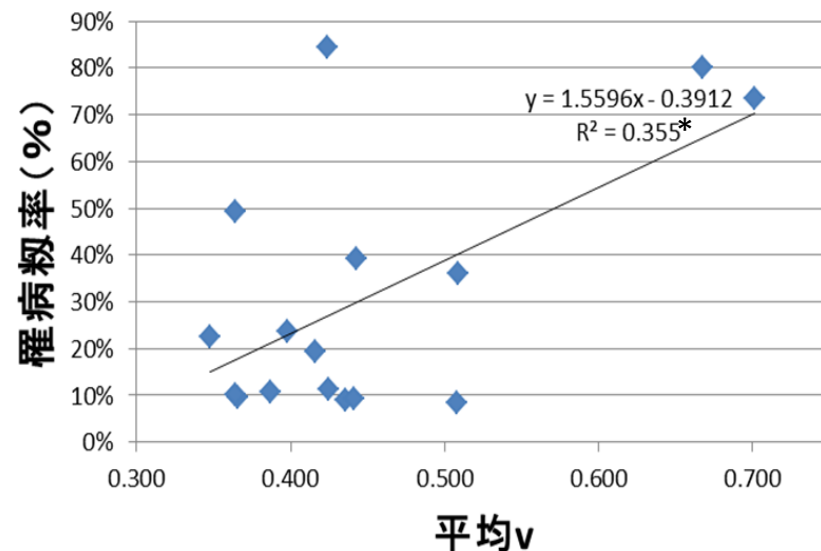
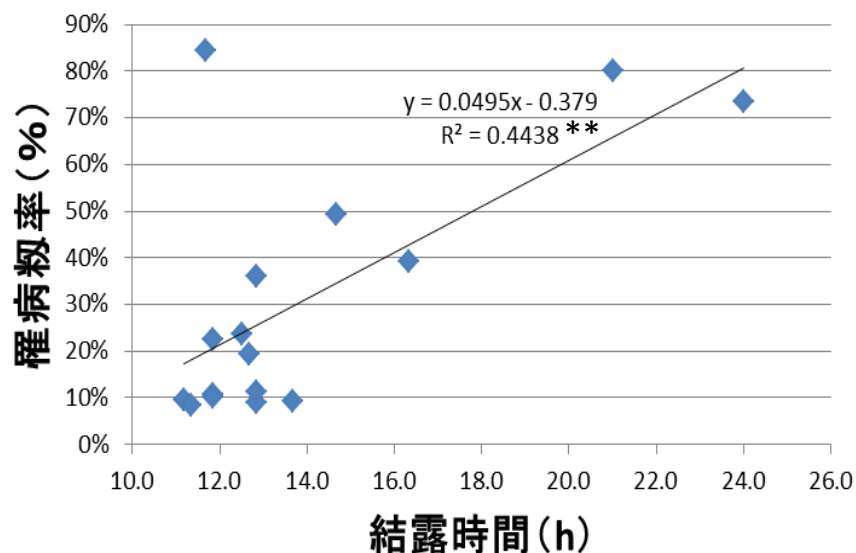
- 葉と比較して穂は構造上水滴が消失しにくいいため、葉面濡れセンサーで計測した結露時間が0時間でも感染が成立した。
- 結露時間が**10時間**を超えると罹病率が増加する傾向がみられた。
- 平均vの増加とともに罹病率が増加した。

結果：2014,2015年に試験した穂いもちポット試験における穂いもち発生と平均湿度,RH結露時間の関係



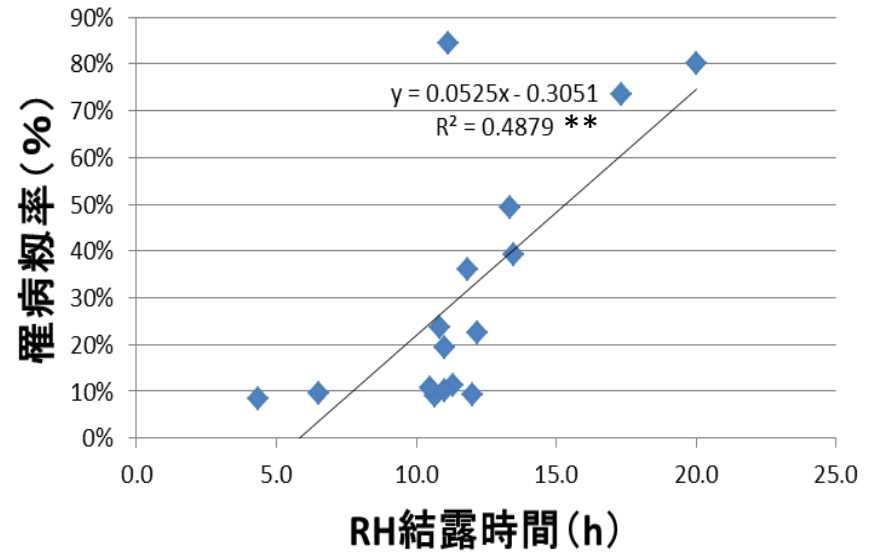
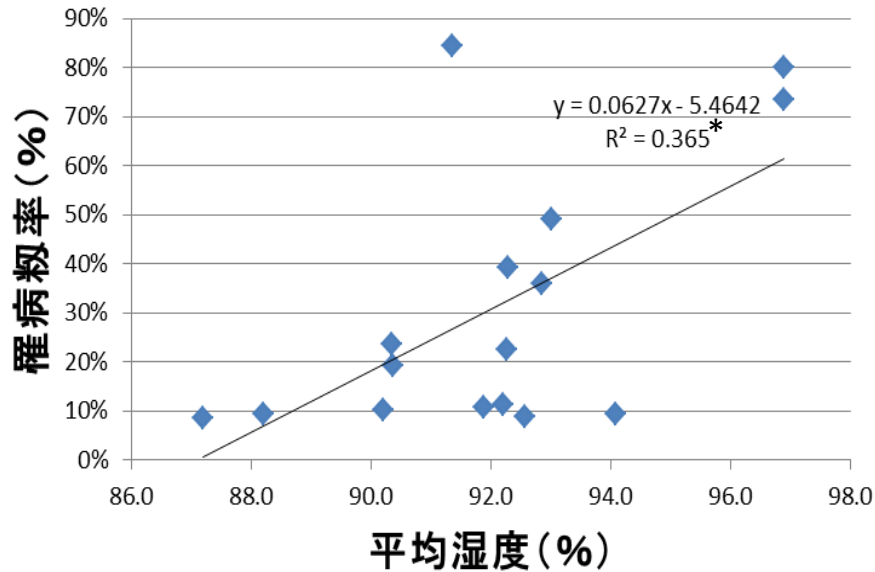
- 平均湿度, RH結露時間の増加とともに罹病率が増加した.

結果: 2015年に試験した穂いもち圃場試験における穂いもち発生と結露時間, 平均vの関係



- 結露時間の最小値は11.2時間, 平均vの最小値は0.364vであり, 試験期間を通じて結露時間, 平均vが高かった.
- 結露時間は有意水準1%, 平均vは有意水準5%で罹病率と有意な相関がみられた.

結果: 2015年に試験した穂いもち圃場試験における穂いもち発生と平均湿度, RH結露時間の関係



- 平均湿度の最小値は87%であり, 試験期間を通じて平均湿度が高かった.
- 平均湿度は有意水準5%, RH結露時間は有意水準1%で罹病率と有意な相関がみられた.

まとめ：穂いもち試験

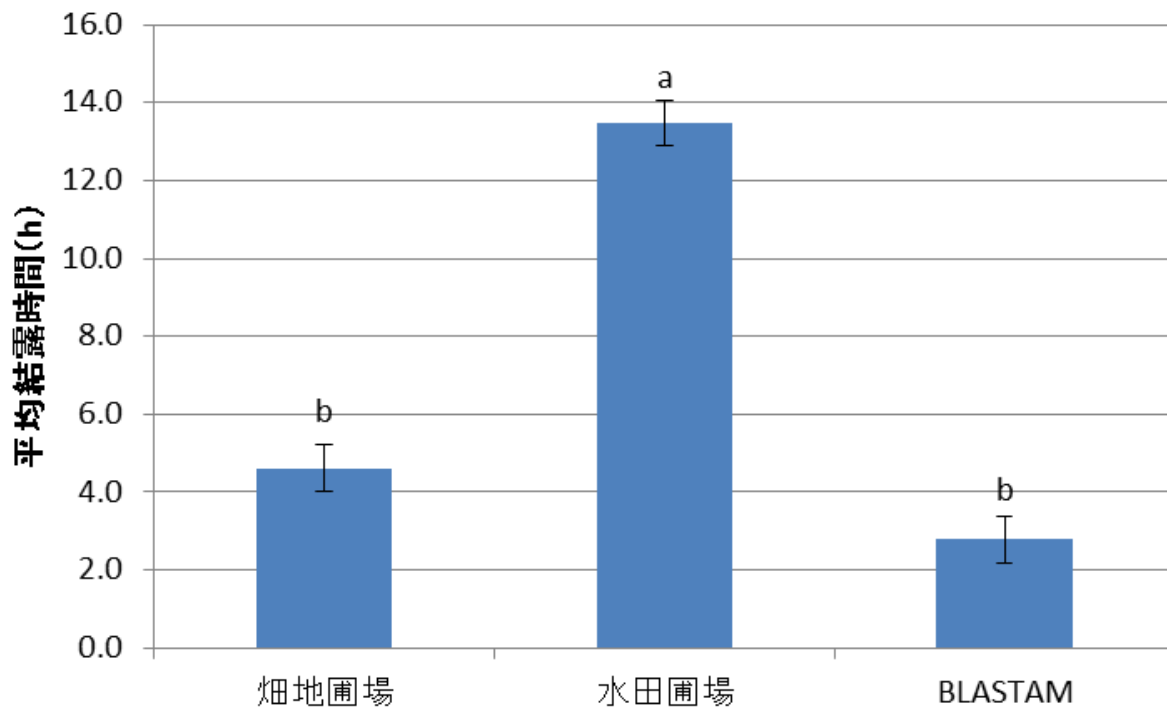
【ポット試験】

- 結露時間, 平均 v , 平均湿度, RH結露時間の増加とともに罹病率が増加した.
- 結露時間**10時間**を超えると罹病率が増加する傾向がみられた.

【圃場試験】

- 結露時間とRH結露時間で穂いもち発生と有意な相関がみられた.
- ポット試験と比較して圃場試験では試験期間中の結露時間や平均 v , 平均湿度が高かった.

結果：畑地圃場と水田圃場の結露時間の比較



平均結露時間は6/27-9/1期間中における結露時間の平均を算出。

- 平均結露時間は、畑地圃場**4.6h**、水田圃場**13.5h**、BLASTAM**2.8h**であった。
- 水田圃場の平均結露時間は有意に高かった。
- 畑地圃場とBLASTAMの平均結露時間に差はみられなかった。

考察①

- 水田圃場は畑地圃場に比べて結露時間が長く、水田圃場では**湛水**が結露へ及ぼす影響が大きいと考えられた。



精度の高い発生予察を行うためには、**湛水**が結露に及ぼす影響を考慮する必要があり、結露計や湿度計を水田圃場に設置する必要がある。

考察②

- ポット試験, 圃場試験において, 結露時間, 平均 v , 平均湿度, RH結露時間と葉いもち及び穂いもち発生との相関が高かった.
- 葉面濡れセンサーで計測した値が1.5 v を超えた場合には, イネ体上から孢子が流される程の強雨条件が発生している可能性が考えられた.
- 温湿度計では強雨条件を評価できず, 2013年の試験ではRH結露時間と葉いもち発生との相関が低かった.



葉面濡れセンサーで計測した結露時間や平均 v が葉いもち及び穂いもちの発生予察に利用可能.

- 2014-2015年の試験では, 結露時間と比較してRH結露時間で, より少ない時間で感染が増加し寄与率も高かった.



葉面濡れセンサーにおける結露とみなす基準値は0.284 v よりも高い値が適している.

今後の課題

- 圃場試験では試験期間を通じて結露時間や平均 v が高かったことから、再度試験を行い多様なデータを取得する.
- 水田圃場は畑地圃場と結露環境が大きく異なるため、葉いもちの圃場試験を行う.
- 葉面濡れセンサーにおける結露とみなす基準値を検討.
- 1.5 v より低い値でいもち病菌の感染が成立しない可能性があるため、感染が成立しないと判断される基準値を検討.
- BLASTAMは、推定した葉面結露時間に温度を組み合わせて発生予察を行っているため、結露に温度を加味していもち病発生との関係を検討.