

葉面濡れセンサー等を用いたチャ炭疽病の発生予測の検討

松本敏幸*

Investigation of Forecasting of *Discula theae-sinensis* Using the Leaf Wetness Sensor

Toshiyuki MATSUMOTO

キーワード：炭疽病，チャ，発生予測，葉面濡れセンサー

本研究では、葉面濡れセンサーを用いてチャの葉面湿潤時間を推定する手法を検討した。葉面濡れセンサー値が 5.3~6.5 %の時に茶園の葉面湿潤状態が終了することから、葉面濡れセンサー値 6.5 %を基準値とし、それを超える時間をチャの葉面湿潤時間とすることが妥当と考えられた。

また、相対湿度から葉面湿潤時間を算出する方法についても検討したところ、葉面濡れセンサー値から推定した葉面湿潤時間 (h/day) と相対湿度が 82.4 %以上の時間 (h/day) に高い相関がみられ、相対湿度から葉面湿潤時間を推定する回帰式が得られた。

葉面濡れセンサーと湿度センサーから求めた葉面湿潤時間とチャ炭疽病発生の関係について調査したところ、葉面濡れセンサーから求めた葉面湿潤時間と炭疽病発病率の決定係数は高かったが、湿度センサーを用いた場合は決定係数が低く、チャ炭疽病の発生予測には葉面濡れセンサーを利用することが妥当と考えられた。

1. 緒言

チャ炭疽病 (病原菌: *Discula theae-sinensis*) は本県の茶栽培における最も重要な病害の一つである。本病は二番茶期にあたる梅雨期以降に多く発生し、新葉に大型壊死病斑を形成し、罹病葉の落葉による収量低下や収穫物への混入による製茶品質の低下を招く¹⁾。本病の防除は、殺菌剤散布に大きく依存しているが、作業時間やコストの面でも経営を圧迫しているため、発生予測に基づいた効率的な防除が不可欠である。

炭疽病菌の胞子は、茶葉の毛茸上に付着し、適度な水分と温度の条件下で発芽し、進入菌糸を出すことで細胞壁内に侵入し、チャの新芽に感染する²⁾。このように、炭疽病菌の感染には、胞子の存在と適温、植物の表面が濡れている状態が必要であることから、気温と葉面湿潤時間 (植物の表面が濡れている時間) を測定することは、炭疽病の発生予測を行う上で重要と考えられる。また、炭疽病の発生は降雨の有無に大きく左右され、チャの新芽生育期に降雨がなければほとんど発生しないこと³⁾が知られている。過去の研究では、平均気温および葉面湿潤時間のデータを気象観測装置と結露計から取得し、炭疽病の発生予測に活用できることが報告されている^{4), 5)}。この結露計では、葉面が結露する条件では装置内のろ紙も結露して重くなるとみなし、ろ紙の重量の変化で濡れを評価している⁶⁾。しかし、結露計は販売が中止されており、入手可能であったとしてもろ紙の定期的な交換が必要で、

メンテナンスに労力がかかり、継続的な利用が難しい。

近年開発された静電容量型葉面濡れセンサー (Onset 社製 S-LWA-M003) (図 1) は、センサー表面に水滴が付着している面積の割合を計測できる⁷⁾。葉面濡れセンサーはコストが比較的安価で、メンテナンスが容易といった特徴があり、イネいもち病、マンゴー炭疽病等の発生予測への利用が試みられている^{8), 9)}。また、湿度センサーを用いて相対湿度が 90 %を超える時間を測定して、これを植物の葉面湿潤時間として推定する方法が報告されている¹⁰⁾ため、相対湿度から推定した葉面湿潤時間を用いてチャ炭疽病の発生を予測できる可能性がある。

本研究では、葉面濡れセンサーと湿度センサーを用いてチャの葉面湿潤時間を推定する手法を検討した。また、炭疽病の発生予測に資するため、葉面濡れセンサーと湿度センサーから求めた葉面湿潤時間と炭疽病の発生量との関係について検討した。



図 1 葉面濡れセンサー (Onset 社製「S-LWA-M003」)

2. 材料および方法

2.1 葉面濡れセンサーを用いた葉面湿潤時間の測定方法の検討

葉面濡れセンサーを用いて葉面が濡れている状態（葉面湿潤状態）から乾いた状態への変遷点を把握するためには、植物種ごとにセンサーの閾値を設定する必要があるとされている⁷⁾。ここでは、茶園における目視で観察した葉面湿潤状態と葉面濡れセンサー値を比較し、葉面湿潤状態を判断するための葉面濡れセンサー値の閾値について検討した。

試験は、滋賀県農業技術振興センター茶業指導所（滋賀県甲賀市水口町水口 6750）において、2020年の時点に26年生の‘やぶきた’を調査対象樹として実施した。試験で使用した葉面濡れセンサー（Onset社製 S-LWA-M003）は、水平から15°～45°の角度で設置することが推奨されている⁷⁾。また、チャは品種によって受光態勢、すなわち葉身傾斜角度が異なり、本試験に供試した‘やぶきた’の葉身傾斜角度は42.5°であると報告されていることから¹¹⁾、葉面濡れセンサーを葉身傾斜角度とほぼ同じ角度の水平から45°の角度で茶株面の2 cm上に設置した。なお、気温・湿度センサー（Onset社製 S-THB-M002）を自然通風シェルター（Onset社製 RS3-B）内に格納して茶園横に設置し、気温と相対湿度を計測した。これらセンサーは、データロガー（Onset社製 RX3003-00-01）を連結して使用した。葉面濡れセンサー値と気温、相対湿度は10分間隔で計測した。また、比較対象として結露計（北東衝機社製）による葉面湿潤時間も計測した。

茶園における葉面湿潤状態の目視による調査は、2020年の秋芽生育期の9月11日、9月18日、9月23日、10月1日、10月2日、10月7日、10月14日の朝（7時半ごろから開始）に行った。約3.6 m²の樹冠面上の濡れている秋芽20芽について目印を付け、乾いていく状態を継続的に目視で調査することで濡れ芽率（葉に水滴が付着している芽の割合）を求めた。

2.2 湿度センサーを用いた葉面湿潤時間の測定方法の検討

2021年の5月31日～9月30日に試験2.1と同じほ場、同じ方法にて、葉面濡れセンサー値と相対湿度を測定した。葉面濡れセンサーから求めた葉面湿潤時間（h/day）と閾値以上の相対湿度保持時間（h/day）の相関関係を調査し、最も相関係数が高くなる閾値を求め、相対湿度から葉面湿潤時間を推定する回帰式を作成した。なお、相関関係の解析は、センサー計測の1日の範囲を午前12:00～翌日の午前12:00とし、Microsoft Windows用のExcel2021日本語版（以下、Excel）のVBAマクロプログラムを作成し行った。

2.3 各センサーから推定した葉面湿潤時間と炭疽病発病の関係性

2022年4月に、土とピートモスを体積比1:1で充填した鉢に‘やぶきた’苗を定植した1年生鉢植え茶樹を用い、三番茶芽生育期（8月上旬～9月上旬）に次に示す方法で接種試験を実施した。なお、鉢植え茶樹は20鉢を用いた。

供試菌株はCT001株（静岡県島田市分離株）を用いた。供試菌株を200 mLフラスコ内の茶葉培地（茶葉5 gに蒸留水25 mlを加え、滅菌したもの）上で25℃、4週間培養した。培養後に、フラスコに蒸留水を注ぎ、接種に用いる孢子懸濁液1.0×10⁶個/mLを作成し、噴霧接種に用いた。

接種は8月4日、8月5日、8月8日、8月12日、8月18日、8月25日、8月26日、9月5日、9月8日、9月9日に実施した。各接種日に鉢植え茶樹2鉢を供試し、夕方に鉢植え茶樹に孢子懸濁液を噴霧接種し、センサー類を設置している茶園横に静置した。翌日に葉面が乾いたことを確認後、ハウス内に移動した。

接種日の葉面湿潤時間の計測は午前12:00～翌日の午前12:00とし、葉面湿潤状態が翌日午前12:00以降も継続している場合は、葉面湿潤時間に加味した。葉面濡れセンサーを用いた葉面湿潤時間は、3.1の結果をもとに菌接種以後の葉面濡れセンサー値が6.5%を継続して超える最長の期間とした。湿度センサーを用いた葉面湿潤時間（ y ）は、相対湿度が82.4%を継続して超えている最長の期間（ x ）から、次式により求めた。

$$y = 0.861x + 1.69$$

発病の調査は接種後約1か月間実施した。炭疽病は展開もない若い葉にのみ感染可能とされている²⁾ため、鉢植え茶樹の調査する葉は接種時点で新芽上位2葉までとした。1鉢につき20葉調査し、接種日毎に供試した2鉢の平均値から発病葉率を求めた。葉面湿潤時間と炭疽病の発病葉率の関係は、Excelの2次近似曲線を用いた回帰分析を行った。

3. 結果および考察

3.1 葉面濡れセンサーを用いた葉面湿潤時間の測定方法の検討

図2に降雨があった日を含む10月2日から10月5日までの葉面濡れセンサー値と相対湿度の推移を示した。葉面濡れセンサーを設置した秋芽生育期（9月～10月）に、葉面濡れセンサー値は降雨のない日でも1日周期で変動し、昼間には3.5～5.9%の範囲で推移し、夕方から相対湿度が70%程度に上昇するに伴い上昇し、毎夜21時頃から翌朝6時頃には結露により100%程度まで上昇した。また、葉面濡れセンサー値は、降雨に伴い100%近くまで上昇することが確認されたが、雨が止むと相対湿度は高くても急速に低下した。

朝の目視による葉面湿潤状態の調査結果を図3に示した。葉面濡れセンサー値は日出後に急速に低下し、数時間の間

5.3~6.5 %の範囲で上下する。その間に目視によっても葉面が乾いたことが認められ、その時点で葉面湿潤状態の終了とした。7日の調査の内、葉面湿潤状態が終了した時点で葉面濡れセンサーの値が最も高かった6.5 %を閾値とし、それを超過する場合を葉面湿潤時間とすることが適当と考えられた。

また、結露計の値は降雨がない場合は変動せず、茶園上に明らかに水滴が付着していても葉面湿潤状態の判定が出ないことが多かった(データ略)。このため、葉面湿潤時間の精度においても結露計を用いることは適切でないと考えられた。

3.2 湿度センサーを用いた葉面湿潤時間の測定方法の検討

2021年の5月31日~9月30日の閾値以上の相対湿度保持時間(h/day)と葉面濡れセンサーから求めた葉面湿潤時間(h/day)の値から直線回帰式を作成し、相対湿度の閾値が0~100の範囲で決定係数(R²)を求めたところ、閾値が82.4 %の時に最も高くなり、この場合の直線回帰式は $y = 0.861x + 1.69$ (R² = 0.851) であった(図4)。このことから、相対湿度から葉面湿潤時間を推定する場合、相対湿度が82.4 %以上の時間(h/day)の値をこの回帰式に当てはめ、算出することが適当と考えられた。

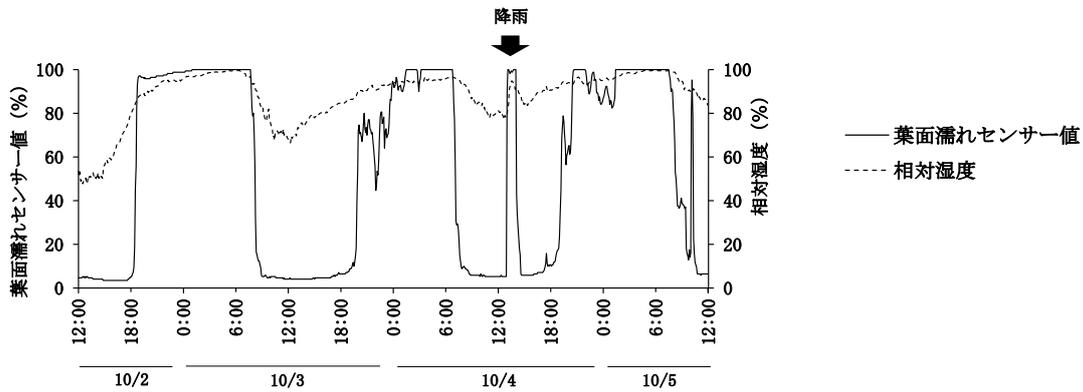


図2 無降雨期間の葉面濡れセンサー値と相対湿度の推移 (2020年10月2日~10月5日)

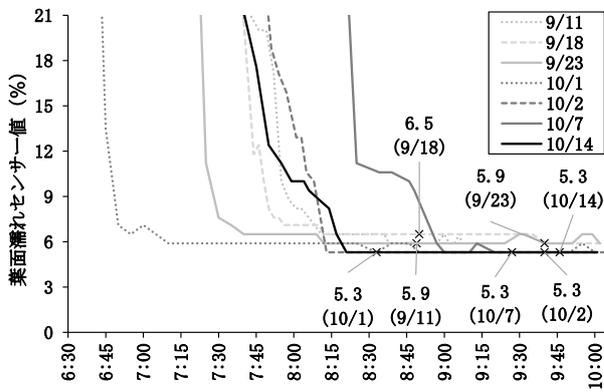


図3 早朝の葉面濡れセンサー値の推移 (2020年)

注) ×は観察調査による葉面湿潤状態の終了タイミングを示す。複数回の観察調査の中で、葉面湿潤状態が終了した時点の葉面濡れセンサー値が最も高い6.5 %を、葉面濡れセンサーの閾値とした。

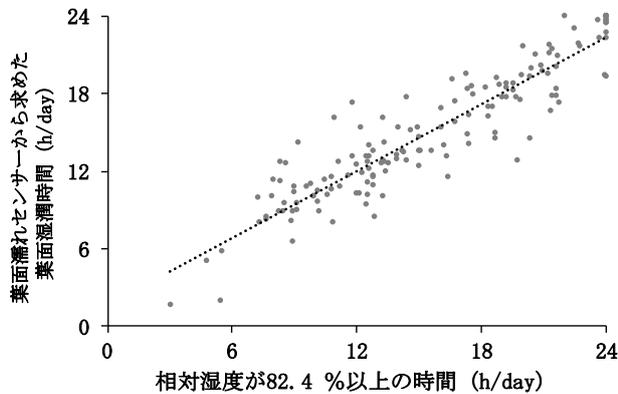


図4 相対湿度が82.4 %以上の時間と葉面濡れセンサー値から求めた葉面湿潤時間の関係 (2021年)

注) 葉面濡れセンサーで求めた葉面湿潤時間は葉面濡れセンサー値>6.5 %の時間。
2021年5月31日~9月30日の期間のデータから直線回帰式を作成した。
 $y = 0.861x + 1.69$ (R² = 0.851). n=153.

3.3 各センサーから推定した葉面湿潤時間と炭疽病発病の関係性

葉面濡れセンサーと湿度センサーから推定した接種日の葉面湿潤時間と、接種21日後の発病株率を比較した結果を図5に示した。葉面濡れセンサーを用いた場合には、葉面湿潤時間が長くなると発病率が増加する傾向がみられた。

葉面濡れセンサーから求めた葉面湿潤時間の最小値は13.8時間、最大値は18.1時間であり、葉面湿潤時間と発病率の決定係数 (R^2) は0.527であった。また、葉面濡れセンサーの閾値を10.0、15.0、20.0に変えた場合、葉面湿潤時間と発病率の決定係数 (R^2) はそれぞれ0.226、0.165、0.154となり、閾値が高くなるほど決定係数が低くなる傾向がみられた。このことから、葉面濡れセンサーを用いる場合は、ほ場で茶園の状態を観察し、葉面湿潤状態の閾値を可能な限り厳密な値で設定することが重要と考えられた。

一方で、湿度センサーから求めた葉面湿潤時間の最小値は12.2時間、最大値は20.1時間であった。葉面湿潤時間と発病率の決定係数 (R^2) は0.290であり、葉面濡れセンサーを用いた場合と比較して決定係数が低かった。イネいもち病においても、湿度センサーと比較して葉面濡れセンサーを用

いた方が、葉面湿潤時間と葉いもち病斑数の決定係数が高いことが報告されており⁶⁾、今回も同様の傾向が認められた。

以上のことから、葉面濡れセンサー値から求めた葉面湿潤時間と炭疽病発病率の決定係数は高く、葉面濡れセンサーはチャ炭疽病の発生予測に活用可能と考えられた。一方で、湿度センサーを用いた場合は決定係数が低く、チャ炭疽病の発生予測に活用する際には葉面濡れセンサーの利用が適当と考えられた。筆者はこれまでに、炭疽病菌を気温22℃以上で接種すると発病することを確認しているが^{1,2)}、本試験の接種日の平均気温は23.1~28.0℃であったため、感染に好適な範囲での試験であったと推測される。本試験における解析には接種時の葉面湿潤時間以外は考慮に入れておらず、単年度の試験であるため、さらなるデータの蓄積が必要である。

本試験では‘やぶきた’の葉身傾斜角度に合わせた葉面濡れセンサーの設置角度にしているが、チャは品種によって受光態勢が異なるため¹¹⁾、葉面濡れセンサーの設置方法は品種を考慮する必要がある可能性がある。また、今回の試験は鉢植え茶樹で実施しており、実際の茶園と異なる条件下での試験であるため、栽培現場における適合性の検討は今後の課題である。

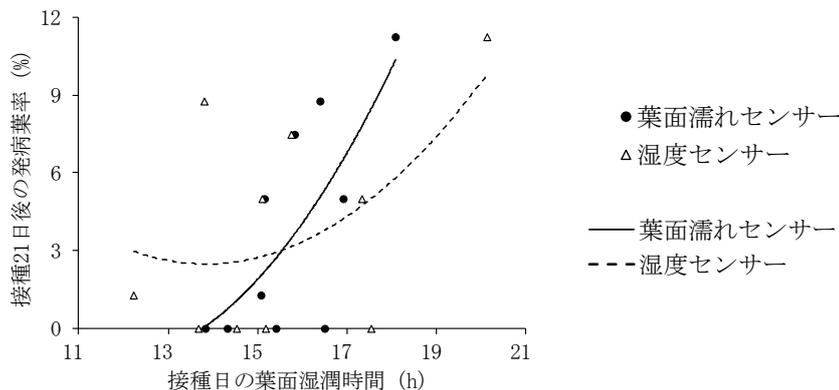


図5 葉面湿潤時間と炭疽病発病率の関係 (2022年)

注) 発病率には接種21日後に調査した。n=10。

葉面濡れセンサーの近似曲線は $y = 0.280x^2 - 6.50x + 36.5$ ($R^2 = 0.527$)。

湿度センサーの近似曲線は $y = 0.186x^2 - 5.15x + 38.1$ ($R^2 = 0.290$)。

4. 謝辞

本試験の遂行にあたり、供試菌株を分譲頂いた国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構植物防疫研究部門の山田憲吾博士に厚く御礼申し上げる。滋賀県農業技術振興センター茶業指導所の当時の所長であった西野英治氏・志和将一博士をはじめ、同指導所の各位にはほ場管理、調査に多大なるご協力と貴重な助言をいただいた。また、伴和美氏には調査および分析の補助をいただいた。ここに記して深謝の意を表す。

5. 引用文献

- 1) 山田憲吾(2020)：チャ病害の発生生態と防除。植物防疫, 74, 44-48.
- 2) 岩浅潔(1994)：茶の栽培と利用加工, 272.
- 3) 吉田克志・山田憲吾・園田亮一(2011)：チャにおける炭疽病・輪斑病複合抵抗性品種‘さえあかり’を基幹とした病害防除。植物防疫, 65, 202-205.
- 4) 静岡県経済産業部(2010)：パソコンで利用できるチャ炭疽病防除支援システムの開発。あたらしい農業技術, 542,

- 1-8.
- 5) 和田義彦(1999)：チャの炭疽病の発生予測と防除方法. 滋賀県農林水産試験研究主要成果.
- 6) 橋本 晃 (1976)：イネいもち病菌の感染と水滴. 植物防疫. 30, 264-268.
- 7) Onset Computer Corporation (2011)：Leaf Wetness Smart Sensor (S-LWA-M003) Manual. 1-2
- 8) 菅原直人・小林 隆・長谷 修 (2021)：葉面濡れセンサーを用いた葉いもちの発生予察. 生物と気象, 21, 74-80.
- 9) 澤岬哲也 (2013)：施設マンゴーにおける炭疽病菌 *Colletotrichum gloeosporioides* の感染に及ぼす付着器形成と葉濡れ時間との関係. 沖縄農研セ研報, 8, 25-29.
- 10) Sentelhas P, Marta A, Orlandini S, Santos E, Gillespie T, Gleason M (2008)：Suitability of relative humidity as an estimator of leaf wetness duration. Agricultural and Forest Meteorology, 148, 392-400.
- 11) 田中淳一 (2011)：チャ品種・系統における葉身傾斜角度と収量性との関係. 育種学研究, 13, 89-98.
- 12) 松本敏幸(2023)：葉面濡れセンサーを利用したチャ炭疽病感染好適日の推定とその防除方法. 滋賀県農林水産試験研究主要成果.
<http://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/5396047.pdf>

6. Summary

In this study, a method for estimating the leaf wetness period of tea plants using a leaf wetness sensor was evaluated. The leaf wetness state in the tea fields ended when the leaf wetness sensor value was between 5.3% and 6.5%. Therefore, using a leaf wetness sensor value of 6.5% as the threshold was considered appropriate and the time exceeding this threshold was defined as the leaf wetness period.

Additionally, a method for estimating the leaf wetness period in tea plants using a relative humidity sensor was evaluated. A high correlation was found between the leaf wetness period estimated from the leaf wetness sensor values (h/day) and the time when the relative humidity was 82.4% or higher (h/day), resulting in a regression equation for estimating the leaf wetness period using relative humidity.

The relationship between the leaf wetness period calculated using leaf wetness sensors, humidity sensors, and anthracnose occurrence was examined. The coefficient of determination between the leaf wetness period calculated using the leaf wetness sensors and the anthracnose incidence rate was high; however, the coefficient of determination was low when using humidity sensors. Therefore, the use leaf wetness sensors is considered appropriate to predict the occurrence of anthracnose in tea plants.