気象情報を利用したナシ黒星病感染予測モデルの開発

菅原幸治[1)]・大谷　徹[2)]・田中　慶[1)]・Laurenson,Matthew[1)]・渡邊朋也[1)]・梅本清作[3)]
1)農業技術研究機構中央農業総合研究センター　2)千葉県農業総合研究センター　3)千葉県農業大学校

【はじめに】

ナシの病害虫防除については、年間に殺虫剤・殺菌剤あわせて 20 回前後の薬剤散布が実施されている（千葉県 13 年度病害虫防除暦による指導では 15～22 回)。病害では黒星病および輪紋病を主な対象として、年間 10 数回（千葉県防除暦 12～16 回)、特に 4～7 月の生育期間にはほぼ 10 日間隔で殺菌剤散布が行われる。その一方で近年、環境保全型の生産体系が求められており、ナシ生産においても薬剤散布回数の低減は最重要課題の一つとなっている。

中央農業総合研究センターと千葉県農業総合研究センターは 1999 年度より共同研究として、ナシ病害総合管理技術の体系化ならびにネットワークを活用した病害管理支援システムの開発を進めている。千葉県ではそれまでの試験により、果樹病害の専門家が薬剤の種類や散布時期を適時判断して栽培者に指導することで、年間 7～9 回の殺菌剤散布で防除暦による散布の場合と同等の防除効果を得られることが示されている(梅本ら, 2001)。これをふまえ共同研究では、的確な病害防除の方法・実施時期の判断を普及レベルでも可能とする情報提供システムの構築を目標としている。その一環として、ネットワーク上で気象情報を利用して実行できるナシ黒星病感染予測モデルの開発を行った。

【ナシ黒星病感染予測モデルの作成】

果樹の病害予測モデルとしては、リンゴ黒星病の葉に対する感染・発病を濡れ時間と気温による関係式で記述する Mills の式が広く知られている(MacHardy and Gardoury, 1989)。昨年度はこれをナシ黒星病に応用して感染予測モデルを作成した(大谷ら, 2001)。しかし、Mills の式では一定の発病度ごとに異なる濡れ時間と気温の関係式を使用するため、発病度の連続的な変化を表現できなかった。一方、Duthie(1997)により、温度と濡れ時間を変数とする関数として病原菌の反応を記述する汎用的な病害予測モデルが報告されている（表１)。より柔軟に利用できるモデルを開発するため、ナシ黒星病の感染に対する本モデルの適用を試みた。

表１ Duthie(1997)による病原菌感染予測モデルの概要

・濡れ時間が感染に及ぼす影響　$\boldsymbol{Y_w} = \boldsymbol{f}(w) = \mathbf{A}(1-\exp\{-[\mathbf{B}(w-\mathbf{C})]^{\mathbf{D}}\})$

パラメータ　A：濡れ時間の増加にともなう発病度の上限値　B：発病度の増加率
C：発病を起こす最短濡れ時間　D：濡れ時間－発病度曲線の変曲点の位置

・温度が感染に及ぼす影響　$\boldsymbol{Y_t} = \boldsymbol{g}(t) = \mathbf{E}'\{\exp[(t-\mathbf{F})\mathbf{G}/(\mathbf{H}+1)]\} / \{1+\exp[(t-\mathbf{F})\mathbf{G}]\}$

$$\mathbf{E}' = \mathbf{E}\,[(\mathbf{H}+1)/\mathbf{H}]\,\mathbf{H}^{1/(\mathbf{H}+1)}$$

パラメータ　E：感染最適温度下での発病度の最大値
F：感染最適温度を示すための値　感染最適温度 $t_{opt}=F-(1/G)\ln(H)$
G：温度－発病度曲線の勾配　H：温度－発病度曲線の非対称性

・濡れ時間および温度が感染に及ぼす影響

発病度の上限値が温度に依存するとした場合（$A=g(t)$ 発病度の増加速度 B は一定）

$$\boldsymbol{Y} = \boldsymbol{h}(w,t) = \boldsymbol{g}(t)\cdot(1-\exp\{-[B(\boldsymbol{w}-C)]^{D}\}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots（式１）$$

発病度の増加速度が温度に依存するとした場合（$B=g(t)$ 発病度の上限値 A は一定）

$$\boldsymbol{Y} = \boldsymbol{h}(w,t) = A(1-\exp\{-[\boldsymbol{g}(t)\cdot(\boldsymbol{w}-C)]^{D}\}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots（式２）$$

千葉県では、ニホンナシ黒星病の分生子を葉に接種してその感染に対する温度と濡れ時間の影響を調査した試験が行われており(Umemoto, 1991)、このデータを Duthie モデルへの当てはめに用いた。接種試験の結果では、各温度条件における発病度の最大値は温度に依存せずに一定の上限値に達する傾向がみられたため、Duthie モデルの式２を適用することにした。モデル式のパラメータ計算は表計算ソフトウェア Microsoft Excel 2000 のソルバー機能を使用して最小二乗法により行った。その際、近似には二次外挿法を用い、探索には共役傾斜法を用いた。

計算から得られた各パラメータの値は表２に示すようになり、発病度の上限値(A)は 73.9、感染に必要な最短濡れ時間(C)は 8.8 時間、感染最適温度(t_{opt})は 18.5℃となった。Duthie モデルによるナシ黒星病の発病度に対する温度および濡れ時間の関係は、図１、図２のように表わされた。

表２ ナシ黒星病の発病度に対する温度および濡れ時間の関係を Duthie モデルの式２に適用したときの各パラメータ値（R^2=0.985）

A	B	C	D	E	F	G	H	T_{opt}
73.87	―	8.757	1.470	0.4238	19.25	0.7184	1.745	18.48

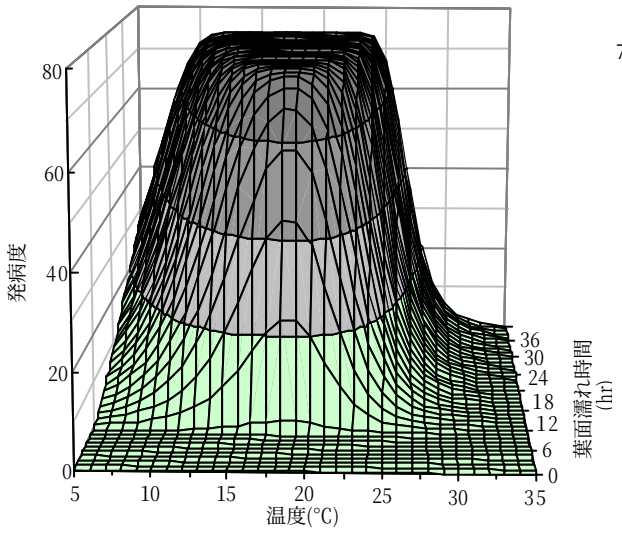

図１ ナシ黒星病の発病度と温度および濡れ時間との関係を表す Duthie モデルのグラフ

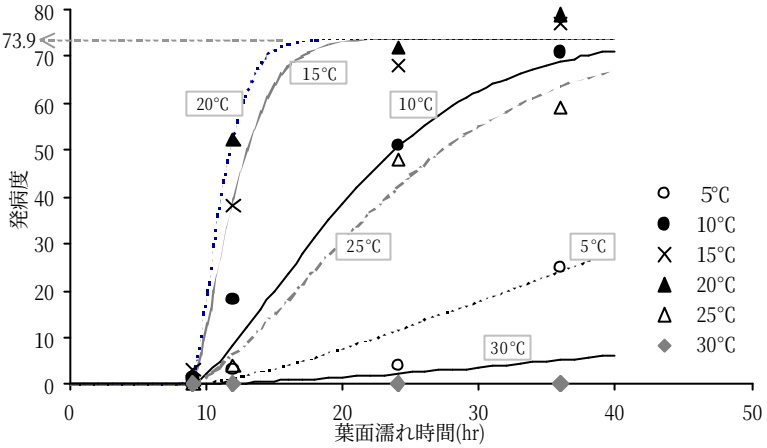

図２ 各温度条件下におけるナシ黒星病の発病度と濡れ時間との関係
シンボルは接種試験(Umemoto,1991)のデータ
曲線は Duthie モデルの当てはめによる近似

【気象データによる濡れ時間の推定】

多くの病原菌で感染の進行に水分が必要条件となるため、病害予測モデルでは「濡れ時間」のデータを用いる場合が多い。しかし、濡れセンサー（結露計）を備えている気象観測装置は非常に限られており、通常の気象情報を利用して病害予測を行う場合には、他の観測要素から濡れ時間を推定する必要がある。これをふまえ、千葉県農総研内の気象観測露場における観測データと、同所内ナシ試験樹園に設置した気象データロガーの濡れセンサー（図３）のデータについて、2000・2001 年 4～7 月の期間で比較を行った。なお、2 種類の濡れセンサーでパフォーマンスを調べ、樹園内のシリンジコイル型濡れセンサーの値が 80 以上（最高値 100）で経過している時間を「濡れ時間」とした。

黒星病防除において特に重要な時期である 4～6 月は、降雨のない日でも夜間に結露することが多いことから、降雨と湿度のデータを組み合わせた濡れ時間の推定を試みた。その結果、表３のような濡れ時間の推定方法が導かれた。ただし、これはあくまで経験的な推定方法であるため、来年度以降も濡れセンサーによる実測値との比較を行って検証を重ねる必要がある。

表２ 降雨の有無と湿度による濡れ時間の推定方法

条件 1	a.過去 3 時間以内に降雨があれば現時刻まで濡れが継続。 b. 0～6 時の時刻に a.の条件であれば 6 時まで濡れが継続。
条件 2A	湿度 90%以上で経過。（結露の発生条件）
条件 2B	0～6 時の時刻に湿度 90%以上で経過。

適用時期	濡れの判定条件
4 月 1 日 ～ 5 月 15 日	条件 1 ＋ 条件 2A
5 月 15 日 ～ 6 月 30 日	条件 1 ＋ 条件 2B
7 月 1 日 ～ 7 月 31 日	条件 1

図３ ナシ試験樹園内に設置された気象データロガーおよび濡れセンサー
左：気象データロガー(Campbell Scientific 社製 CR10X)とデータ送信システム
コンテナ上の箱の中にノートPC がありPHS でデータを自動送信している。
右上：平板型濡れセンサー(Campbell) 右下：シリンジコイル型濡れセンサー(自作)

【Java によるモデルの実装】

以上のナシ黒星病感染予測モデルならびに濡れ時間推定方法は、Java プログラミング技術により Applet として実装された。その中で、感染程度の計算に用いる気象データの読み込みには、気象データ仲介ソフトウェア“ MetBroker ”(Laurenson ら, 2001)を利用している。これにより、全国の気象データ(AMeDAS 等)のほか、千葉県農総研内の気象観測露場およびナシ樹園の気象データロガーから得られるデータも、ネットワークを介して読み込めるようになっている。ナシ黒星病感染予測モデル Applet は試験的に WWW 上で公開されており、ユーザは MetBroker に対応した任意の気象データソースを選択して感染程度の計算を実行できる（図４）。

【今後の予定】

現段階のシステムでは、気象情報からモデルにより予測される病害発生の危険程度を示すのみであるが、今後は薬剤の残効予測モデルならびに散布履歴記録システムを追加することで、樹園ごとの薬剤散布適期を情報として提供できるシステムの開発を進める。また、千葉県内のナシ生産地で来年度より、ナシ黒星病感染予測モデルによる予測結果の検証を開始する予定である。

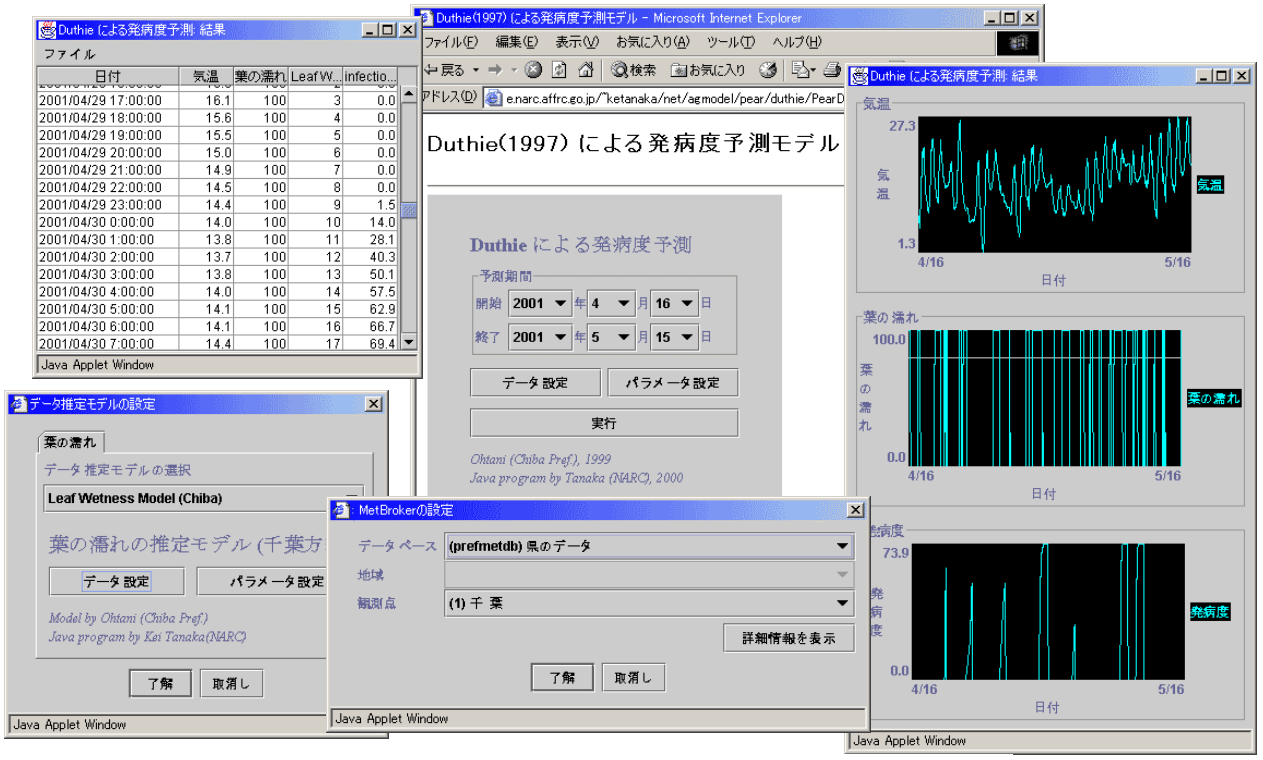

図４ ナシ黒星病感染予測モデル Applet の実行画面
左下 :濡れの推定方法の設定　中下 :MetBroker のデータソースの設定
左上 :計算結果の時系列一覧表示　右 :計算結果のグラフ表示

【参考サイト】

ナシ病害発生予察モデルの概要	http://riss.narc.affrc.go.jp/nashi/model.htm
作物生育・病害予測モデル集	http://cse.naro.affrc.go.jp/ketanaka/model/
MetBroker **ホームページ**	http://www.agmodel.net/MetBroker/

【参考文献】

Duthie,J.A. 1997. Models of the response of foliar parasites to the combined effects of temperature and duration of wetness. Phytopathology 87:1088-1095.

Laurenson,M・**木浦卓治・二宮正士．** 2001．MetBroker－**分散オブジェクトによる気象データの利用－．農業情報学** 3：50-53.

MacHardy,W.E. and Gardoury,D.M. 1989. A revision of Mills's criteria for predicting apple scab infection periods. Phytopathology 79:304-310.

大谷　徹・田中　慶・菅原幸治・Laurenson,M.・**渡邊朋也・梅本清作．** 2001．**ナシ黒星病の感染予測モデルによる発生予察の試み．農業情報学** 3：39-41.

Ohtani,T., Sugahara,K., Tanaka,K., Laurenson,M., Watanabe,T., and Umemoto,S. 2001. Web based IPM system for Japanese pear diseases in Japan. III. Weather data acquisition system to estimate leaf wetness duration and scab infection severity. The 2001 KSPP International Conference and Annual Meeting. Plant Disease Forecast: Information Technology in Plant Pathology. Program and Abstracts 63.

Tanaka,K., Laurenson,M., Sugahara,K., Ohtani,T., Watanabe,T., and Umemoto,S. 2001. Web based IPM system for Japanese pear diseases in Japan. II. Forecasting models for scab infection associated with weather retrieval system. The 2001 KSPP International Conference and Annual Meeting. Plant Disease Forecast: Information Technology in Plant Pathology. Program and Abstracts 62-63.

Umemoto,S. 1991. Relationship between leaf wetness period, temperature and infection of *Venturia nashicola* to Japanese pear leaves. Ann.Phytopath.Soc.Japan 57:212-218.

梅本清作・大谷　徹． 2001．**‘幸水’,‘豊水’などの病害の少数回薬剤散布による体系防除の試み（講要）．日植病報．** 67：221.