

水稻品種「わたぼうし」における穂いもち発病予測モデル

誌名	北日本病害虫研究会報
ISSN	0368623X
著者名	黒田,智久 松澤,清二郎 堀,武志
発行元	北日本病害虫研究会
巻/号	68号
巻号補足	
掲載ページ	p. 28-32
発行年月	2017年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



水稻品種「わたぼうし」における穂いもち発病予測モデル

黒田 智久^{1,*}・松澤清二郎^{2,3}・堀 武志¹

A Prediction Model for Panicle Blast Incidence on Rice Cultivar “Wataboushi”

Tomohisa KURODA^{1,*}, Seijiro MATSUZAWA^{2,3} and Takeshi HORI¹

水稻品種「わたぼうし」を用いた過去のいもち病防除試験を再解析し、穂いもち発生量及び防除効果を予測するロジスティック回帰モデルの構築を試みた。目的変数を発病穂率あるいは重症穂率、説明変数を上位葉病斑数、水面施用粒剤あるいは茎葉散布剤による穂いもち防除の有無及び出穂期から6日後までの降雨日数とすると、いずれもモデルの予測力に貢献していると考えられた。発病穂率あるいは重症穂率のオッズは、上位葉病斑数が1増加すると約1.5倍、降雨日数が1増加すると約1.4倍になり、穂いもちは増加し、一方で穂いもち防除粒剤施用により0.75倍、茎葉散布で0.08倍となり、穂いもちは減少すると推定された。検証用データによる発病穂率と重症穂率の予測的中率はそれぞれ81.7%と84.8%、 κ 係数はそれぞれ0.23~0.97と0.22~0.80とやや低く、モデルの有効性は認められたが、今後交絡因子の影響等も検討する必要がある。

Key words: AIC, fungicide efficacy, logistic regression

水稻品種「わたぼうし」は、1993年に新潟県奨励品種に指定された早生糯品種である(9)。玄米はやや大粒で、品質は極良である。また、加工適性が優れていること、もちに加工したときの硬化性が緩やかであることから、赤飯や和菓子等の製造業者から高く評価されている。いもち病に対しては、真正抵抗性遺伝子 *Pii* 及び *Pik* を持つが、葉いもち及び穂いもち圃場抵抗性が著しく低いため、県では葉いもち防除を必ず実施するとともに、葉いもち発生状況に応じて1~2回の穂いもち防除を指導している(2)。しかし、穂いもち発生量から収量及び玄米品質の低下を推定する報告はいくつかあるものの(4, 8, 11)、水稻品種「わたぼうし」で葉いもち発生量から穂いもち発生量を予測し、その際の穂いもち防除効果を予測して穂いもち防除要否の判断を支援できるモデルはまだ無い。一方、新潟県においては、「わたぼうし」を対象品種として穂いもち防除の有無のみが異なり、他の条件が同一で、葉いもち発生量及び穂いもち発生量の数値データを有する試験例が複数ある。そこで本

研究では、それらを用いてロジスティック回帰モデルを構築し、穂いもち発生量予測の可能性を検討した。

なお、本稿の一部は、第70回北日本病害虫研究発表会でポスター発表した。

材料および方法

1. 供試データ

品種「わたぼうし」におけるイネいもち病を対象とした薬剤効果試験の成績を供試した。すなわち、2008年から2016年における一般社団法人日本植物防疫協会の新農薬実用化試験及び新潟県単独研究課題として実施した12圃場における61試験区(第1表)の試験結果を解析に供した。各試験は、試験薬剤処理区、対照薬剤処理区及び無処理区から構成されており、各試験区とも1~3反復で実施された。ただし、圃場内の試験区の配置や調査株の抽出方法が不明な場合もあるため、解析に当たっては同一試験内の反復データを合算して無反復と見なした。株当たりの上位3葉の病斑数は、出穂期直後に

1) 新潟県農業総合研究所作物研究センター

Niigata Agricultural Research Institute, Crop Research Center, 857 Nagakura-cho, Nagaoka, Niigata 940-0826, Japan

2) 新潟県農業総合研究所作物研究センター

3) 現在：新潟県新潟地域振興局農林振興部

*) 責任著者 (Corresponding Author)

受理日：2017年8月9日 (Accepted: August 9, 2017)

第1表 データを供試した試験の概要

試験 No.	実施年	試験 区数	処理法 (試験区数) ¹⁾	N施肥量 (kg/10a)×回数 ²⁾	備考
1	2008	4	育 (3), 無 (1)	基0, 穂0.1×1	前作大豆
2	2009	14	育+茎 (4), 育 (6), 茎 (1), 水 (2), 無 (1)	基0, 追0.5×1, 穂1×2	前作大豆
3	2009	4	茎 (3), 無 (1)	基5, 穂1.5×2	
4	2010	3	水 (2), 無 (1)	基4, 穂1×2	
5	2011	4	水 (3), 無 (1)	基2, 穂1.5×2	前作大豆
6	2011	4	育 (3), 無 (1)	基4, 穂1.5×2	
7	2012	3	水 (2), 無 (1)	基4, 穂1.5×2	
8	2013	6	育 (2), 水 (3), 無 (1)	基4, 穂1.5×2	
9	2014	5	育 (4), 無 (1)	基4, 穂1×1	
10	2015	5	育 (4), 無 (1)	基4, 穂1.5×2	
11	2015	3	茎 (2), 無 (1)	基4, 穂1.5×2	
12	2016	6	育 (5), 無 (1)	基4, 穂1×2	前作大豆

1) モデル構築に試験No. 1～10を用い、試験No. 11と12はモデルの検証に用いた。

2) 殺菌剤の処理方法は、育苗箱施用粒剤 (育)、茎葉散布粉液剤 (茎)、水面施用粒剤 (水) 及び無処理 (無) に分類し、体系処理は略字間に+を入れて示した。

3) 施肥は、基肥 (基)、追肥 (追)、穂肥 (穂) とし、窒素成分量 (kg/10 a)×回数の形で示した。

行った反復ごとの調査データの平均値を用いた。穂いもち調査は、出穂期から25～30日後に行い、以下の発病程度基準に従って定量化した。すなわち、A：穂首・みごあるいは節が発病した穂、B：枝梗の2/3以上が発病した穂、C：枝梗の1/3～2/3が発病した穂、D：枝梗の1/3以下が発病した穂 (ただし、穂5粒以下が発病の場合は、発病無しと見なす) とした。調査穂数は、株当たり穂数に調査株数を乗じて算出した。降雨日数は、出穂期を起点 (0日) として任意の日数後までの期間に1 mm/日以上降水量があった日数を積算したものである。降水量は、試験ほ場に直近のAMeDAS観測所のデータを使用した。

2. 解析方法

穂いもち発病予測モデルを構築するために、一般化線形混合モデルによる分析を行った。モデルの構築には試験No. 1～10のデータを、モデルの検証には試験No. 11～12のデータをそれぞれ用いた。調査穂数に対する穂いもち調査基準A～Dの合計穂数の割合を発病穂率、同様にA～Cの合計穂数の割合を重症穂率とし、それぞれロジスティック回帰モデルの目的変数とした。説明変数は、株当たりの上位葉の葉いもち病斑数、穂いもち対象水面施用粒剤散布の有無、穂いもち対象茎葉散布 (粉剤あるいは液剤) の有無、及び出穂後降雨日数を用いた。薬剤散布の有無は、有を1、無を0としたダミー変数を用いた。降雨日数は、0または正の整数とした。解析ソフトウェアは、R3.2.3 (7) 及びlme4ライブラリ (1) を用いた。

結果および考察

解析に供した新農薬実用化試験におけるいもち病を防

除対象とした薬剤の効果試験の耕種概要及び試験設計を示した (第1表)。施肥は、窒素成分量で基肥4～5 kg/10 a、穂肥1.0～1.5 kg/10 aで、新潟県において推奨されている施肥水準である (10)。前作が大豆であった試験No. 1, 2, 5では、基肥無施用あるいは推奨水準の半量の2 kg/10 a、試験No. 1と2では穂肥も減量している。新農薬実用化試験では、いもち病を確実に発生させるために多肥栽培が行われることがあるが、その場合でも前作が大豆であった試験では、これらの施肥条件は新潟県内の一般栽培と同水準以下であると考えられる。葉いもち防除用育苗箱施用剤を使用した試験区では、殺菌剤成分が明らかな薬剤の多くはプロベナゾールあるいはチアジニル、イソチアニルを有効成分とする抵抗性誘導剤で、カルプロパミド粒剤を使用した試験も含まれた。また、プロベナゾール粒剤の移植後水面施用を行った試験結果も用いた。穂いもち防除は、出穂期前の水面施用粒剤あるいは出穂期頃の粉剤あるいは液剤1～2回散布であった。殺菌剤成分が明らかな水面施用粒剤は、ピロキロンあるいはメトミノストロビンが有効成分であった。茎葉散布は、試験No. 2ではフェリムゾン・フサライド水和剤、試験No. 3ではカスガマイシン・フサライド粉剤、No. 11ではフェリムゾン・フサライド水和剤とテブフロキン水和剤が用いられた。

穂いもち発病に影響する環境要因として、降雨、高湿度、気温等が報告されている (12)。品種「わたほうし」の出穂期は7月第5半旬ころで、日平均気温は25℃前後であることが多い。すなわち、出穂期頃の日平均気温はいずれの試験においてもおおむね感染適温であり、穂いもち発病の変動を説明する変数としては適切でないと考えた。一方、孢子形成量は高湿度が継続した時間の長さ

に影響され、降雨日では高湿度時間が長くなることで多量の孢子が形成され飛散する(6)。すなわち、降雨は孢子形成と飛散に好適な条件であると同時に、穂の感染に必要な濡れ時間が確保される可能性が高いことから、説明変数として適切であると考えた。また、上位葉病斑数は、穂いもちの発生と密接に関係しているとされていることから(3)、株あたり上位葉病斑数を説明変数に加えた。さらに、供試データは防除試験データであることから、穂いもち防除用粒剤散布の有無及び茎葉散布の有無を説明変数に加えた。

穂いもち発病率を P_d 、穂いもち重症率を P_s 、株あたり上位葉いもち病斑数を X_1 、穂いもち防除用粒剤散布の有無を X_2 、茎葉散布の有無を X_3 、降雨日数を X_4 とすると、 $[0, 1]$ の間の実数値をとる確率である P_d 及び P_s は次のロジスティック回帰式の形で表せる：

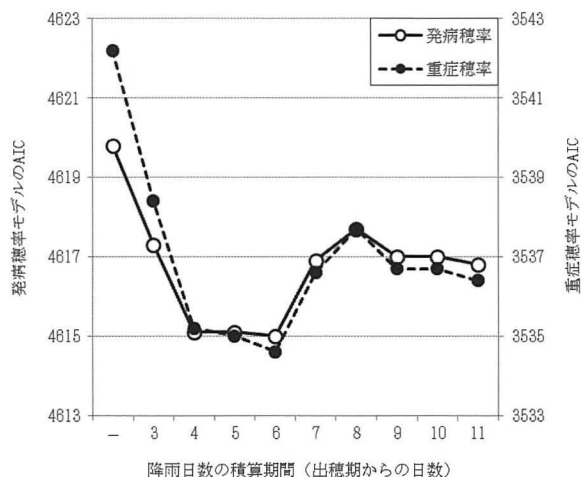
$$P = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4)}}$$

(ただし、 β_i は説明変数 X_i の偏回帰係数)

なお、式を変形し、左辺を対数オッズ $\ln(P/(1-P))$ とすると上式は下記のように表せる：

$$\ln \frac{P}{1-P} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4$$

降雨日数の変数は、穂の感受性が高い期間の降雨日数とすることで、モデル式の予測精度が向上することが期待される。そこで、降雨日数の積算期間を出穂期(0日)から n 日後までとし、 n を3~11まで変化させて、各モデル式の赤池情報量基準(AIC)を求め、それぞれのモデルの予測力を比較した(第1図)。その結果、出穂期6日後までの7日間の降雨日数を説明変数 X_4 とすると



第1図 発病率モデル及び重症率モデルにおける説明変数、降雨日数の積算期間と赤池情報量基準(AIC)の関係(注)降雨日数積算期間は、出穂期(0日)からの日数とした。

AICの数値が最も低くなり、これが検討した中で最適なモデルと考えられた。なお、降雨日数の積算期間 n を3~11の値として説明変数 X_4 とした場合、元の説明変数4個のモデルからいずれの説明変数を取り除いても両モデル間にはWald検定により有意差が認められたので($p < 0.05$)、4種の説明変数をすべて含んだモデルが最も予測力があった。同様の手順で、予測力の高い重症率 P_s のモデル式を推定した。発病率モデルの場合と同様、Wald検定結果はすべて有意で($p < 0.05$)、 X_4 は出穂期6日後までの降雨日数とするとAICの数値が最も低くなった。これらの結果から、発病率 P_d と重症率 P_s の最適なモデル式は以下のように推定された。

$$P_d = \frac{1}{1 + e^{-(2.8 + 0.4X_1 - 0.3X_2 - 2.47X_3 + 0.25X_4)}}$$

$$P_s = \frac{1}{1 + e^{-(3.77 + 0.41X_1 - 0.29X_2 - 2.72X_3 + 0.33X_4)}}$$

なお、それぞれのモデルにおける各説明変数の偏回帰係数及び標準誤差は第2表に示した。

発病率モデルにおける上位葉病斑数 X_1 の偏回帰係数は0.4(指数変換値1.49)で、これは、各説明変数が線形モデルを取ると仮定すれば、病斑数が1増えるごとに発病率のオッズが1.49倍(オッズ比1.49)になることを示す。一方、上位葉病斑数は重症率に対しても同程度の影響があり、病斑数が1増えるごとに重症率のオッズは1.51倍(オッズ比1.51)になる。穂いもち防除を水面施用粒剤(X_2)あるいは茎葉散布剤(X_3)で行った場合、発病率モデルにおける偏回帰係数はそれぞれ-0.3と-2.47なので、ともに発病率を下げる効果はあるものの、茎葉散布の効果が高いと解釈できる。同様に、重症率のオッズは水面施用粒剤散布によって0.75倍(オッズ比0.75)、茎葉散布によって0.07倍(オッズ比0.07)に低下することから、茎葉散布の効果がより高いと考えられた。

降雨日数積算期間は、出穂期から出穂6日後までの期

第2表 最適モデルにおける説明変数の偏回帰係数推定値

説明変数	発病率モデル		重症率モデル	
	偏回帰係数	標準誤差	偏回帰係数	標準誤差
定数項	-2.80	0.36	-3.77	0.36
株あたり上位葉いもち病斑数	0.40	0.004	0.41	0.005
穂いもち対象水面施用粒剤の散布	-0.30	0.03	-0.29	0.03
穂いもち対象茎葉散布	-2.47	0.04	-2.72	0.04
出穂期から出穂6日後までの降雨日数	0.25	0.08	0.33	0.08

第3表 テストデータによるモデルの予測力の検証

試験 No.	供試薬剤	処理方法 ¹⁾	実測値 (%)		予測値 (%)		予測的中率 (%)		κ 係数	
			発病穂率	重症穂率	発病穂率	重症穂率	発病穂率	重症穂率	発病穂率	重症穂率
11	テブフロキン水和剤	茎葉	3.3	2.0	1.3	0.5	98.0	98.5	0.56	0.41
	フェリムゾン・フサライド水和剤	茎葉	4.3	2.7	1.3	0.5	97.0	97.8	0.45	0.30
	無処理	—	14.2	10.2	13.5	7.0	99.3	96.8	0.97	0.80
12	トリシクラゾール粒剤	育苗箱	48.0	27.1	13.9	6.8	65.9	79.7	0.30	0.33
	チアジニル粒剤	育苗箱	66.2	47.8	20.1	10.3	53.9	62.5	0.23	0.22
	チアジニル粒剤	育苗箱	47.3	26.2	20.8	10.7	73.5	84.5	0.45	0.50
	プロベナゾール粒剤	育苗箱	36.1	19.6	10.2	4.8	74.1	85.2	0.34	0.34
	プロベナゾール粒剤	育苗箱	62.9	48.5	81.2	67.8	81.7	80.7	0.56	0.62
	無処理	—	89.1	72.2	97.3	94.9	91.8	77.3	0.37	0.25

1) 処理方法における「茎葉」は茎葉散布, 「育苗箱」は育苗箱施用を示す。

間とするとモデルによる予測力が最も高かったが、出穂4日後あるいは5日後までの期間とした場合でも予測力は変わらなかった(第1図)。新潟県内の平均的な田植え時期(5月10日頃)に「わたぼうし」を移植した場合、出穂期は7月22日頃となる。このころの日平均気温は25℃前後なので、出穂期から出穂4日後あるいは6日後までの積算気温は120~200℃日となり、穂の感受性は最も高い時期である(5)。また、イネ体へのいもち病菌の侵入と感染成立にはイネ体表面の濡れが重要であることから、モデルで出穂期から4, 5, 6日後までのいずれの期間の降雨日数を用いても同様な結果が導かれることは既報の知見(5)とよく合致する。出穂6日後までの降雨日数の説明変数(X_4)の偏回帰係数は、発病穂率モデルでは0.25、重症穂率モデルでは0.33である。これは、降雨日数が1増加するごとに発病穂率のオッズは約1.3倍(オッズ比1.3)、重症穂率のオッズは約1.4倍(オッズ比1.4)に増大すると解釈できる。

次にモデル構築時に利用しなかったテストデータを用い、モデルによる予測力の検証を行った。2015年と2016年に実施した試験No. 11と12(第1表)の9試験区における各説明変数の数値をモデルに投入し、発病穂率及び重症穂率の予測値を得た。そして、発病穂数の予測値と実測値、健全穂数の予測値と実測値をそれぞれ比較し、予測どおり発病穂であった穂数と予測どおり健全穂であった穂数の合計を調査穂数で除し、予測的中率を算出した(第3表)。さらに予測的中率は「偶然による一致」が含まれるため、予測的中率から偶然による一致率を除去した κ 係数を算出した(第3表)。重症穂率についても同様に予測的中率と κ 係数を算出した。その結果、9試験区の平均予測的中率は、発病穂率モデルで81.7%、重症穂率モデルで84.8%であるが、 κ 係数は発病穂率モデルで0.23~0.97、重症穂率モデルで0.22~0.80であり、両モデルの精度はやや低かった。これらのことから、今回のモデルで発病穂率あるいは重症穂率の予測を行うことは可能と考えられたが、今後検討すべ

き課題がいくつか指摘できる。今回の両モデルでは、いずれも説明変数を線形としてモデル化しているが、各説明変数が他の交絡因子となっている可能性、あるいはここで明示されていない交絡因子が存在する可能性はまだ検討されていない。もし、交絡因子の影響が取り除かれていないのなら、モデルによる因果推論に問題があることになり、予測力に影響が出る恐れがある。

本研究では、品種「わたぼうし」において、予測精度はやや低いものの、葉いもち発生量と出穂期頃の降雨日数が穂いもち発生に強く関係すること、穂いもち防除法ごとの防除効果が数値として予測できる可能性が示された。本研究で構築したモデルは、農業者が効果的・効率的に穂いもちを防除するための意思決定支援が求められているので、その点においては一定の役割を果たせると考えられる。すなわち、出穂直前の上位葉病斑数と週間天気予報から、農業者自身が穂いもち発生程度を予測し、防除要否を判断できるモデル作成は可能と考えられる。農業の大規模化・法人化が進み、個々のフットワークの軽さが異なるので、予防に重点を置くのか、あるいは発生を予測して適時に防除するのかは農業者ごとに異なる。そのため、穂いもち防除法ごとに防除効果が数値化できれば、防除方法選択の一助となるだろう。今後は、「わたぼうし」における穂いもち発生量と経済的な被害の関係を明らかにし、防除コストを勘案した客観的な要防除水準を示せるようモデルを改良したい。

引用文献

- 1) Bates, D., Maechler, M., Bolker, B. and Walker, S. (2015) Fitting linear mixed-effects models using lme4. J. Stat. Soft. 67 : 1-48.
- 2) 新潟県農林水産部 (2017) 平成29年度 農作物病害虫雑草防除指針, pp. 67-74.
- 3) 加藤 肇・佐々木次雄 (1974) イネいもち病の疫学的研究 とくにイネ体上におけるいもち病菌の増殖過程と穂いもち発生量の数値的予測. 農技研報C28 :

- 1-61.
- 4) 勝部利弘・越水幸雄 (1970) いもち病による水稻の被害機構に関する研究. 第一報 穂いもちの罹病率と収量構成要素ならびに玄米品質との関係. 東北農試研報39: 55-96.
- 5) 小林 隆・笹原剛志・神田英司・兼松誠司・石黒 潔・菅野洋光 (2009) 出穂後の積算気温と穂いもち感受性の関係. 北日本病虫研報60: 12-15.
- 6) 古賀博則・小林尚志・吉野嶺一 (1988) 自然感染による穂いもち発生と気象要因. 北陸病虫研報36: 1-5.
- 7) R Core Team (2015) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 8) 佐久間比路子・田中 孝・横山克至・遠藤秀一・斎藤 隆・藤田晴久 (1992) 1991年の山形県におけるいもち病の発生様相と収量品質への影響. 北日本病虫研報43: 24-26.
- 9) 佐々木行雄・東 聡志・近藤 敬・石崎和彦・阿部徳文・佐々木康之・星 豊一・竹内 睦・星野 卓 (1994) 水稻もち品種「わたぼうし」の育成. 北陸作物学会報29: 3-4.
- 10) 新潟県農林水産部 (2011) 水稻栽培指針, p. 19.
- 11) 竹田富一・平山成一・東海林久雄・木村和夫 (1981) いもち病の収量および品質に対する影響. 北日本病虫研報32: 84-87.
- 12) 吉野嶺一 (1979) いもち病菌の侵入に関する生態学的研究. 北陸農試研報22: 163-221.