

特集：近年開発された発生予察技術

リンゴ黒星病の子のう胞子の飛散開始日 および葉における初発日の簡易予測

秋田県農林水産技術センター果樹試験場 浅^{あさ} 利^り 正^{まさ} 義^{よし}

はじめに

リンゴ黒星病は世界的に発生し、我が国においても重要病害として位置づけられている。近年、本病の発生はステロール合成阻害剤の実用化と適切な使用法の確立によって、問題化することは少なくなった。しかし、本病の防除は依然必須であり、毎年、モニリア病の防除とともに防除作業の幕開けを告げている。

リンゴ黒星病 (*Venturia inaequalis*) の防除は第一次伝染の防止が重要とされ、リンゴ樹の生態に基づいて、展葉期、開花直前および落花直後に防除効果の高い薬剤を用いて行われている。しかし、春期の天候不順によってリンゴ樹の生態が大幅に変動する場合があります、生産者から防除適期の判断を求められることも多い。一方、防除適期の判断は第一次伝染源として重要な子のう胞子の飛散状況に基づいて行うことが有効であることから、特に子のう胞子の飛散開始日をとらえることは本病の防除適期を決定するうえで大きな意味をもつと考えられる。しかし、その調査は試験研究機関が顕微鏡的な手法によっている場合が多く、設備や労力の面から実施できる機関および調査地点も限定される。そのため、各地域の気象条件に対応できる簡易な予測法の確立は本病の第一次伝染の効率的な防止に寄与すると考えられる。

本病菌の子のうおよび子のう胞子の成熟や子のう胞子の飛散量の増加パターン、感染程度を予測するモデルは種々検討されているが、飛散開始日の予測に関する報告は少ない。STENSVAND et al. (2005) は花芽の発芽率が 50% に達した日を起算日とした子のう胞子の飛散開始日までの日平均気温の積算温度から、子のう胞子の飛散開始日を予測した。しかし、その方法は子のう胞子の飛散が 50% 発芽日前に始まる年があるなど予測法として十分な結果を示していない。そこで、筆者は積雪寒冷地において本病の第一次伝染源である被害葉が積雪下で越冬

することに着目し、被害葉は積雪下ではほぼ 0℃ の状態であることから、子のう胞子の成熟と飛散は消雪後の気温に大きく影響されると考えた。

本稿では、消雪日と日平均気温の積算温度などから積雪寒冷地における子のう胞子の飛散開始日、初感染日および葉での初発日を簡易に予測する手法について紹介する。なお、本実験はすべて秋田県農林水産技術センター果樹試験場鹿角分場で実施し、当場の気象観測データを用いた。

I 子のう胞子の飛散開始日および 初感染日の推定

1993 年、94 年、97～99 年および 2001 年の 4 月 1 日に、前年の秋に採取して屋外で越冬させた本病の病葉を用いて西田 (1969) の方法に準じて子のう胞子の採取を開始した。子のう胞子捕捉用のスライドガラスは毎日午前 9 時に交換したが、調査は交換後から回収時まで降雨があった場合のみに行った。消雪日および‘ふじ’の発芽日から子のう胞子の飛散開始日までの日平均気温の積算値（以下、積算温度）を算出した。消雪日は試験圃場の消雪率が 50% を示した日とした。‘ふじ’の発芽日はリンゴ生態定期調査のデータを用いた。

消雪日から子のう胞子の飛散開始日までの積算温度を 6 か年を対象に求めた結果（表-1）、1998 年に最小値 180.1 日度が得られた。これをもとに 180.1 日度到達日を各年度ごとに求めた結果、1993 年、97 年および 98 年は子のう胞子飛散開始日と同じになったが、1994 年、99 年および 2001 年はそれぞれ 180.1 日度到達日より 5 日、3 日および 16 日遅れた。その理由として、1994 年は 4 月 23 日に 3.5 mm の降雨があったが降水量が少なく短時間であったこと、1999 年は 180.1 日度到達日の 4 月 25 日以後飛散開始日まで降雨がなかったこと、2001 年は 180.1 日度到達日の 4 月 21 日以後 4 回の降雨があったが降水量が少なかったことから、子のう胞子が捕捉されなかったものと考えられた。なお、子のう胞子の飛散開始日と 180.1 日度到達日との日差の 6 か年の合計は 24 日であった。

発芽日から子のう胞子の飛散開始日までの積算温度を

A Simple Model for Forecasting the Primary Discharge of Ascospores and Symptom Development of Apple Scab, *Venturia inaequalis*. By Masayoshi ASARI

(キーワード：リンゴ、黒星病、子のう胞子、積算温度、積雪、簡易予測)

表-1 消雪日から子のう胞子の飛散開始日までの日平均気温の積算温度（秋田県鹿角市）

調査年	消雪日	飛散開始日	積算温度 ^{a)} (日度)	180.1 日度 到達日 ^{b)}	180.1 日度到達日から子のう胞子飛散 開始日までの降雨日 (降水量 mm)
1993	3/26	4/25	184.0	4/25	4/25 (11.0)
1994	3/30	4/28	233.7	4/23	4/23 (3.5), 4/28 (7.0)
1997	3/27	4/22	180.5	4/22	4/22 (14.0)
1998	3/19	4/15	180.1	4/15	4/15 (6.0)
1999	4/2	4/28	224.3	4/25	4/28 (10.5)
2001	3/26	5/7	330.1	4/21	4/22 (0.5), 4/24 (0.5), 4/26 (1.5), 5/6 (0.5), 5/7 (51.5)

Σ (飛散開始日 - 180.1 日度到達日) = 24 日^{c)}

^{a)} 消雪日から子のう胞子の飛散開始日までの日平均気温の積算値. ^{b)} 消雪日から日平均気温の積算値が 180.1 日度に達した日. ^{c)} 子のう胞子の飛散開始日と消雪日から日平均気温の積算値が 180.1 日度に達した日の日差の合計日数.

表-2 発芽日から子のう胞子の飛散開始日までの日平均気温の積算温度（秋田県鹿角市）

調査年	発芽日	飛散開始日	積算温度 ^{a)} (日度)	86.1 日度 ^{b)} 到達日	86.1 日度到達日から子のう胞子飛散 開始日までの降雨日 (降水量 mm)
1993	4/13	4/25	105.1	4/23	4/23 (6.5), 4/24 (3.5), 4/25 (11.0)
1994	4/14	4/28	142.1	4/23	4/23 (3.5), 4/28 (7.0)
1997	4/10	4/22	86.1	4/22	4/22 (14.0)
1998	4/7	4/15	94.9	4/15	4/15 (6.0)
1999	4/15	4/28	151.4	4/24	4/28 (10.5)
2001	4/10	5/7	267.5	4/18	4/22 (0.5), 4/24 (0.5), 4/26 (1.5), 5/6 (0.5), 5/7 (51.5)

Σ (飛散開始日 - 86.1 日度到達日) = 30 日^{c)}

^{a)} 発芽日から子のう胞子の飛散開始日までの日平均気温の積算値. ^{b)} 発芽日から日平均気温の積算値が 86.1 日度に達した日. ^{c)} 子のう胞子の飛散開始日と発芽日から日平均気温の積算値が 86.1 日度に達した日の日差の合計日数.

同様に求めた結果（表-2）、1997 年に最小値 86.1 日度が得られた。これをもとに 86.1 日度到達日を各年度ごとに求めた結果、1997 年および 98 年は子のう胞子の飛散開始日と同じになったが、1993 年、94 年、99 年および 2001 年はそれぞれ 86.1 日度到達日より 2 日、5 日、4 日および 19 日遅れた。これは前述と同様に降雨の状況が影響した結果と考えられたが、1993 年は 86.1 日度到達日の 4 月 23 日に長時間にわたる 6.5 mm の降雨があったにもかかわらず子のう胞子が捕捉されなかった。なお、発芽日を起算日とした場合の子のう胞子の飛散開始日と 86.1 日度到達日との日差の 6 か年の合計は 30 日であり、消雪日を起算日とした場合の日差の合計より大きくなった。

STENSVAND et al. (2005) は子のう胞子の成熟と発芽期はよく一致しているとし、花芽の 50% 発芽日を子のう胞子の飛散開始日を予測するための積算温度の起算日として用いて、発芽日と子のう胞子の飛散開始日の関連性

を検討しているが、子のう胞子の飛散開始日が 50% 発芽日より早い場合もあり、予測法として十分な結果を得ていない。また、本実験のように発芽日を起算日とした場合も積算温度が飛散開始条件に達したと思われる日に長時間にわたる降雨があったにもかかわらず、子のう胞子が捕捉されないことがあった。これらのことから、積算温度の起算日として発芽日より消雪日が適すると考えられ、消雪日を起算日とした積算温度は試験した 6 か年のうち 3 か年において 180 ~ 184 日度を示したことから、消雪日からの積算温度が 180 日度に達し、子のう胞子の飛散を可能にする降雨があった日が飛散開始日になると考えられた。

子のう胞子の飛散には落葉の濡れ状態や光などの条件が影響を与え（GADOURY et al., 1998 ; STENSVAND et al., 1998）、降雨が伴わなくとも落葉の湿りが飛散を可能にする（STENSVAND et al., 1998）。そのため、積算温度が条件を満たした後の降雨日には、降水量が少ないときにも

子とう胞子の飛散があった可能性もある。一方、本病菌の葉への感染が成立するために必要な濡れ時間 (STENSVAND *et al.*, 1997) が 10 時間以上と比較的長いことから、子とう胞子の飛散があっても感染に至らない場合もあり得る。本病の薬剤による防除では、子とう胞子の飛散の有無より感染の有無を推定することが重要と思われる、感染日を推定することができれば事前に予防剤の散布ができるとともに治療剤の適期散布も可能になる。したがって、積算温度により子とう胞子の飛散開始日を予測し、その後の降雨などによる葉の濡れ時間から初感染日を推定することが実際上有用と思われる。

II 初感染日を起点とした積算温度による初発日の推定

本病菌分生子を時期を変えて葉に接種した場合の発病までの潜伏期間およびその期間内における積算温度を

表-3 分生子接種によるリンゴ黒星病の潜伏期間および初発日までの日平均気温の積算温度^{a)}

接種月日 ^{b)}	初発日	潜伏期間	積算温度 (日度) ^{c)}
4/19	5/7	18 日	221.8
4/26	5/11	15 日	197.5
5/11	5/24	13 日	215.3
6/1	6/12	11 日	220.4
6/13	6/24	11 日	225.9

^{a)} 調査年: 1997 年, ^{b)} 供試品種: '王林', 接種源: 分生子 1.3×10^4 個/ml, 新梢先端葉に噴霧接種, ^{c)} 接種日から初発日までの日平均気温の積算値。

表-3 に示した。4 月 19 日接種では 18 日を要したが、6 月 1 日および 6 月 13 日接種では 11 日と短かった。しかし、積算温度は 4 月 26 日接種で 197.5 日度を示したが、ほかは 215.3 ~ 225.9 日度とほぼ一定であった。本実験では接種源として分生子を用いているが、実際には第一次伝染源である越冬後の被害葉から子とう胞子が伝搬する。しかし、本病菌の分生子と子とう胞子による感染条件 (温度および濡れ時間) はほぼ一致すること (STENSVAND *et al.*, 1997) から、本実験の分生子を用いた結果は子とう胞子の場合にも適用できる可能性がある。そこで、本病の子とう胞子による感染も積算温度が 220 日度前後に達したときに発病すると仮定すると、消雪日からの積算温度と葉の濡れ時間から初感染日が推定でき、その後の積算温度 220 日度により葉における初発日が推定できると考えられた。

III 葉における推定初発日と実際の初発日の比較

2002 ~ 07 年に、消雪日と子とう胞子の飛散開始が可能になる積算温度および肉眼観察による 10 時間以上の葉の濡れ時間から葉での初感染日を推定した。なお、4 月中旬 ~ 5 月上旬の平均気温と STENSVAND *et al.* (1997) の報告から、感染に必要な葉の濡れ時間の条件を 10 時間以上とし、葉面に水滴がある場合を濡れとみなした。また、この推定感染日と発病に要する積算温度から葉における初発日を推定した。推定初発日と毎年無防除で管理している '王林' / マルバカイドウ (2002 年, 22 年生樹) での初発確認日を比較した (表-4)。その結果、2002 年, 05 年および 06 年は 180 日度到達日と推定初感染日の差

表-4 消雪日、日平均気温の積算温度および葉の濡れ時間から推定した初発日と実際の初発確認日の比較

調査年	消雪日	180 日度到達日 ^{a)}	推定初感染日 ^{b)}	180 日度到達日から推定初感染日までの降雨日 (降水量 mm)	推定初発日 (積算温度: 日度) ^{c)}	初発確認日 ^{d)}
2002	3/19	4/16	5/8	4/16 (2.5), 4/17 (13.5), 4/25 (1.5), 5/4 (8.0), 5/5 (0.5), 5/7 (2.0), 5/8 (16.0)	5/25 (227.8)	5/24
2003	3/29	4/24	4/26	4/25 (2.0), 4/26 (10.0)	5/13 (221.7)	5/16
2004	3/22	4/20	4/20	4/20 (7.0)	5/11 (227.7)	5/11
2005	4/8	5/1	5/7	5/2 (0.5), 5/7 (15.0)	5/26 (226.6)	5/26
2006	4/5	5/2	5/14	5/5 (5.0), 5/6 (1.0), 5/7 (2.0), 5/11 (8.5), 5/13 (6.0), 5/14 (4.5)	5/28 (228.1)	6/3
2007	3/30	4/30	5/2	5/1 (0.5), 5/2 (9.5)	5/19 (230.4)	5/20

^{a)} 消雪日からの日平均気温の積算温度が 180 日度に達した日, ^{b)} 180 日度到達日以後, 10 時間を超える葉の濡れ時間が観察された日, ^{c)} 推定初感染日からの日平均気温の積算温度が 220 日度に達した日, ^{d)} '王林' 無防除樹における初発確認日。

が6～22日であったが、これは感染条件を満たす降雨がなかったことによると考えられた。2004年および05年は推定初発日と実際の初発確認日が一致し、2002年および07年は1日、2003年は3日の日差があった。2006年は推定初発日が5月28日であったのに対し、初発確認日が6月3日とその差が6日であったが、この年は、初発確認時の病斑が病徴発現後数日を経過した状態であった。

以上のことから、消雪日を起点とした積算温度(180日度)から子のう胞子の飛散開始日を、さらに、その日以降に10時間以上の濡れがあった日(初感染日)を起点とした積算温度(220日度)から、葉での初発日をほぼ推定できると考えられた。

おわりに

本稿で紹介した簡易予測法は、特別な機器を必要とせず、生産現場で利用できる方法として検討したものであ

る。本法は消雪日の確認、気温などの気象情報や葉の濡れ時間の観察などによって予測するが、葉の濡れ状態の判断が困難であると思われる。長時間にわたる降雨があり、明らかに感染条件を満たす葉の濡れ時間があれば判断も容易であるが、数時間の降雨により、その後の葉の濡れ状態が判然としない場合もある。しかしながら、そのような状態を記録し、防除実績と関連させて発生状況を追跡することも本病の簡易予測法を活用するうえで必要と思われる。今後は地球温暖化の影響などにより、消雪日も変動し、本病菌の動態もこれまでと異なってくることも予想されるが、本簡易予測法が防除効率の向上に資することを期待したい。

引用文献

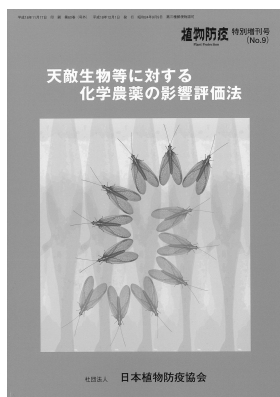
- 1) GADOURY, D. M. et al. (1998): Phytopathology 88: 902～909.
- 2) 西田 勉 (1969): 北日本病虫研報 20: 50.
- 3) STENSVAND, A. et al. (1997): Phytopathology 87: 1046～1053.
- 4) ——— et al. (1998): Plant Dis. 82: 761～764.
- 5) ——— et al. (2005): ibid. 89: 198～202.

好評発売中

天敵生物等に対する化学農薬の影響評価法

植物防疫特別増刊号 No.9

社団法人 日本植物防疫協会 編 B5判 158ページ 口絵カラー
価格 5,040円(本体4,800円+税) 送料116円



天敵昆虫、天敵微生物、訪花昆虫、蚕などに対する化学農薬の影響を評価するための実験手法を、国内の第一人者が詳しく解説しました。IPM実践のため、生物農薬や土着天敵そして訪花昆虫と、化学農薬を上手に組み合わせるための裏付けとなるデータ取得に必携です。

■掲載生物種

タマゴバチ類、オンシツツヤコバチ、マメハモグリバエの寄生蜂、アブラバチ類、土着のアブラバチ、クサカゲロウ類、テントウムシ、ヒメハナカメムシ類、クモ・メクラガメ等、イトトンボオオメカメムシ、ハネカクシ、チリカブリダニ、ケナガカブリダニ類、ククメリスカブリダニ、コハリダニ、昆虫病原性線虫(スタイナーネマ)、線虫寄生性細菌(パスツリア)、糸状菌製剤ミツバチ、マルハナバチ、カイコ

お問い合わせとご注文は

社団法人 日本植物防疫協会 出版情報グループ 〒170-8484 東京都豊島区駒込1-43-11

郵便振替口座 00110-7-177867 TEL 03-3944-1561 FAX 03-3944-2103

ホームページ <http://www.jpfa.or.jp/> メール: order@jpfa.or.jp