

ナシ黒星病菌子のう胞子の飛散消長とモデル化¹

牛尾進吾・金子洋平・大谷 徹・竹内妙子

(千葉県農業総合研究センター)

Seasonal Pattern and Predictive Modeling of *Venturia nashicola* Ascospore DischargeShingo USHIO², Youhei KANEKO, Tohru OHTANI and Taeko TAKEUCHI

摘 要

ナシ黒星病の第一次伝染源として重要な子のう胞子の飛散は3月下旬から4月上旬に始まり、5月中旬から6月上旬に終息し、この間の降雨日に起こった。子のう胞子累積飛散率の移動平均の推移はシグモイド曲線に近似し、その推移をBoltzmann関数に当てはめ累積飛散曲線とした。曲線の係数dは、3月上中旬の平均気温、4月前半の降水量およびナシの開花始期等と相関がみられた。また、曲線から求めた1%累積飛散日は、3月上中旬の平均気温およびナシの開花始期等と相関がみられた。以上の関係に基づき飛散消長の推定を試みた。

千葉県における2006年のニホンナシの収穫量は約35,000 tで、全国第1位となっている。主な品種は「幸水」、「豊水」、「新高」のいわゆる赤梨である。これらの最も重要な地上部病害はナシ黒星病であり、病害防除体系もナシ黒星病防除を中心に組まれている。

ナシ黒星病の第一次伝染源は、腋花芽基部上に形成される分生子と、落葉上に形成される子のう胞子であり(北島, 1989), 薬剤防除の時期を判断するためには、伝染源の飛散状況を把握することが重要である。そこで、第一次伝染源の一つである子のう胞子の飛散消長を6年間調査して、気象条件等との関係を明らかにした。さらに、その結果に基づき飛散消長の推定を試みた。

材料および方法

1. 子のう胞子の飛散状況の調査法

子のう胞子の飛散量調査は、2001年から2006年の6年間、毎年3月中旬から6月中旬にかけて行った。すなわち、3月中旬に千葉農総研(千葉市緑区大膳野町)内の立木園で採取した落葉(主な品種は長十郎)を、

偽子のう核が形成される裏面を上にして、隙間なく4層に敷き詰め、さらに、ネットを被せて落葉が分散しないようにした。梅本(1993)の方法に従い、その上に子のう胞子トラップを設置して、その中に胞子を捕捉するためのグリセリンゼリー塗抹スライドグラスを置いた。スライドグラスは毎日9時に交換し、光学顕微鏡下において、スライドグラス表面の18mm×18mmの面積内に付着した子のう胞子数を計測した。

各調査日までの子のう胞子累積飛散率は式1により求めた。

$$y = n/m \times 100 \quad (\text{式1})$$

ただし、y; 子のう胞子累積飛散率(%)

n; 調査日までにトラップされた胞子総数

m; 調査期間中にトラップされた全胞子数

2. 子のう胞子の飛散状況のモデル化

各年次の子のう胞子累積飛散率の移動平均(各調査日および前後3日間、計7日間の平均)の推移を、最小二乗法により、シグモイド曲線の一つである式2のBoltzmann関数(Chen et al., 1999)に当てはめ、その

1 本報の要旨の一部は2007年度日本植物病理学会(2007年3月28日~30日、栃木県宇都宮市)において発表した。

2 Address: Chiba Prefectural Agriculture Research Center, Daizenno-cho 808, Midori-ku, Chiba-shi, Chiba 266-0006, Japan
2007年5月11日受領
2007年8月17日登載決定

結果を累積飛散曲線とした。

$$y = a + (b - a) / (1 + \exp((c \cdot x) / d)) \quad (\text{式 } 2)$$

ただし、係数 a ; y の最小値

係数 b ; y の最大値

係数 c ; 曲線の中心($y=(b-a)/2$ の x 座標)

係数 d ; 曲線の傾き

累積飛散曲線は、子のう胞子累積飛散率が0%から100%であるため式3で表される。

$$y = 100 / (1 + \exp((c \cdot x) / d)) \quad (\text{式 } 3)$$

ただし、 y ; 累積飛散率 (%)

x ; 3月1日を1日目とした経過日数

係数 c ; 曲線の中心 (累積飛散率が50%になる x の値)

係数 d ; 曲線の傾き (値が大きいかほど傾きは緩やかになり飛散期間は長い)

3. 気象観測値およびナシ開花日

気象観測値は、千葉農総研の気象観測値を用い、ナシ開花日は、千葉農総研の生育調査樹の観察結果に基づいた。

結 果

1. 子のう胞子の飛散消長

各年次における子のう胞子累積飛散率、累積飛散率の移動平均の推移および累積飛散曲線を第1図に示した。子のう胞子の飛散開始時期は3月下旬から4月上旬であり、累積飛散率が1%を超えた日が最も早い年は2001年で3月25日、最も遅い年は2003年で4月8日であった。飛散最盛期は4月中旬から下旬であり、累積飛散率が50%を超えた日が最も早い年は2002年で4月16日、最も遅い年は2001年で4月30日であった。飛散終了時期は5月中旬から6月上旬であり、最も早い年は2006年で5月13日、最も遅い年は2004年で6月1日であった。この間、子のう胞子は降雨日に飛散し、累積飛散率は降雨のたびに階段状に増加した。また、累積飛散率の移動平均の推移はシグモイド曲線に近似し、2002年の飛散期間前半を除き、Boltzmann関数によく当てはまりその結果を累積飛散曲線とした。

2. 累積飛散曲線の係数等と気象条件等との関係

累積飛散曲線の係数等と気象条件等との相関係数を第1表に示した。係数 c は気象条件等と相関はみられなかった。一方、係数 d は3月および3月上中旬(1日から20日)の平均気温と高い正の相関がみられた。また、3月前半(1日から15日)の降水量、4月前半の降水量およびナシ(「豊水」、「幸水」)開花始期と負

の相関がみられた。また、累積飛散曲線から求めた1%累積飛散日は、3月および3月上中旬の平均気温と負の相関がみられ、ナシ開花始期と正の相関がみられた。

なお、3月および3月上中旬の平均気温とナシ開花始期とは、高い負の相関がみられた。

表には示してないが、1月から3月までの3ヶ月間の平均気温、2月から3月までの2ヶ月間の平均気温および3月から5月までの3ヶ月間の降水量等との関係も検討したが、いずれも累積飛散曲線の係数等との相関はみられなかった。

3. 子のう胞子累積飛散曲線の推定

3月上中旬の平均気温と、累積飛散曲線の係数 d および曲線から求めた1%累積飛散日との関係を第2図、第3図に示した。これらの関係から各年次の推定累積飛散曲線(式4)を求めた。

$$Y = 100 / (1 + \exp((C \cdot x) / D)) \quad (\text{式 } 4)$$

ただし、 Y ; 推定累積飛散率 (%)

x ; 3月1日を1日目とした経過日数

係数 C ; 曲線の中心 (累積飛散率が50%になる x の値)

係数 D ; 曲線の傾き

すなわち、各年次の推定累積飛散曲線の係数 D は、第2図の関係に基づき式5により求めた。

$$D = 0.57T + 0.99 \quad (\text{式 } 5)$$

ただし、 T ; 3月上中旬の平均気温

一方、係数 C は気象条件等との関係から直接求められないため、係数 D と第3図の関係に基づいた推定1%累積飛散日(式6)から逆算した(式7)。

$$S_{1\%} = -3.71T + 56.3 \quad (\text{式 } 6)$$

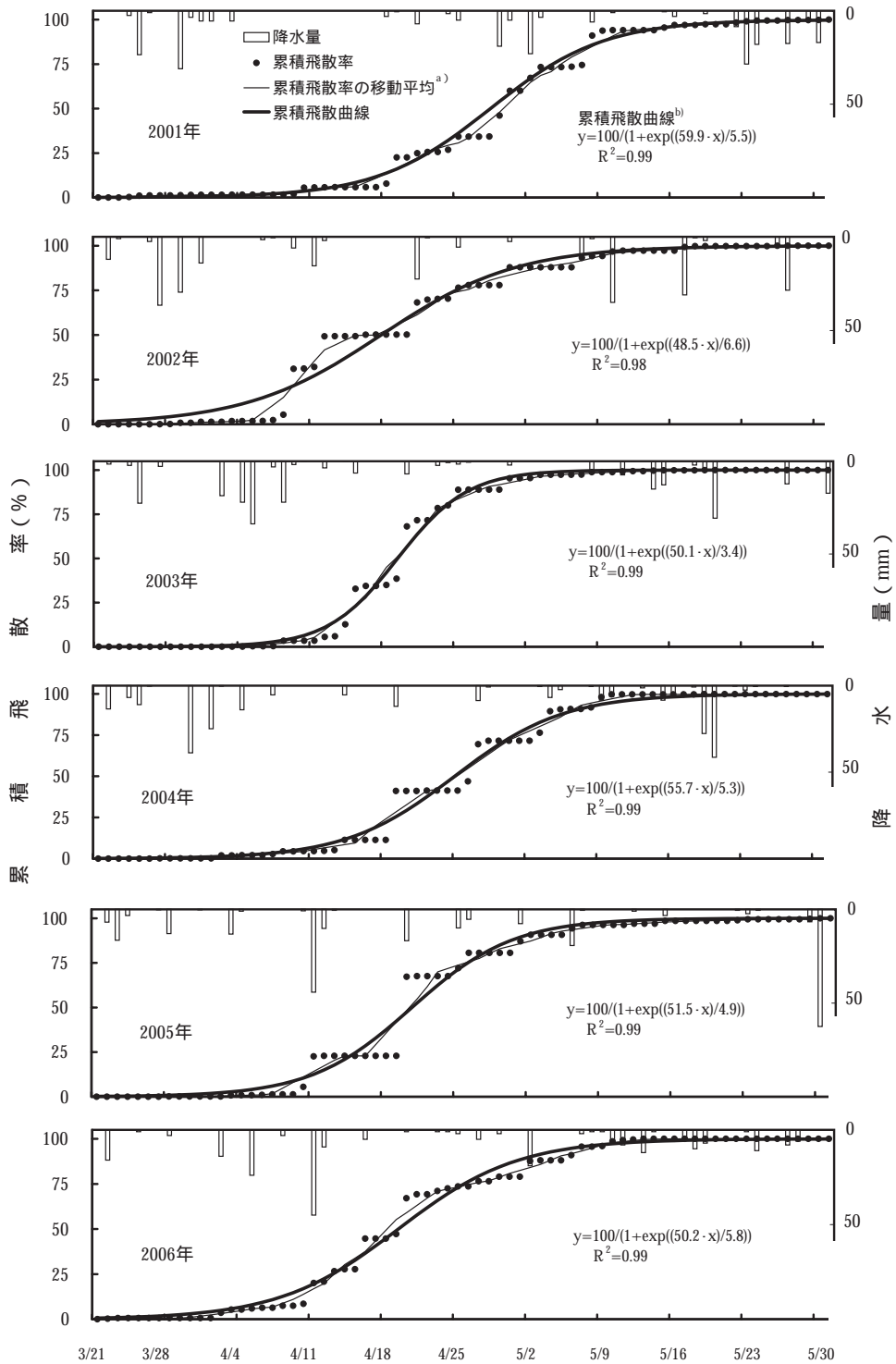
ただし、 $S_{1\%}$; 推定1%累積飛散日

$$C = D(\ln 99) + S_{1\%} \quad (\text{式 } 7)$$

推定累積飛散曲線の係数および推定累積飛散日と実際の飛散日との関係を第2表に示した。

各年次の推定累積飛散曲線の係数 D と累積飛散曲線の係数 d には大きな差がみられなかった。一方、係数 C と係数 c との差は、2001年では-6.6、2003年では4であり、他の年次は-2.9から1.3であった(第1図、第2表)。

推定累積飛散曲線から求めた飛散日と、実際の観察日と比較した結果、推定1%累積飛散日は2001年では実際の飛散日より6日遅かったが、他の年次では実際の飛散日より1日から13日早かった。また、推定50%



第1図 各年次の子のう孢子累積飛散率の推移と累積飛散曲線および降水量

a) 累積飛散率の移動平均；当日および前後3日間の累積飛散率の平均。

b) 累積飛散曲線； $y=100/(1+\exp((c-x)/d))$ 。

ただし、xは3月1日を1日目とした経過日数、cおよびdは係数。

第1表 累積飛散曲線^{a)}の係数等と気象条件等との相関係数(r)

	曲線の係数		曲線から求めた累積飛散日 ^{b)}			ナシ開花始期 ^{b)}	
	c ^{a)}	d ^{a)}	1%	5%	10%	「豊水」	「幸水」
平均気温							
1月	-0.50	0.29	-0.56	-0.61	-0.58	-0.51	-0.57
2月	0.02	0.53	-0.37	-0.27	-0.20	-0.63	-0.56
3月	-0.30	0.87*	-0.86*	-0.78	-0.70	-0.98**	-0.99**
3月上中旬 ^{d)}	-0.36	0.89*	-0.91*	-0.83*	-0.76	-0.97**	-0.96**
4月	0.03	0.06	-0.01	0.02	0.04	-0.23	-0.22
降水量							
3月	0.21	-0.51	0.52	0.49	0.42	0.27	0.19
4月	-0.52	-0.63	0.14	0.00	-0.13	0.57	0.62
5月	0.69	0.43	0.13	0.29	0.38	-0.22	-0.20
3月前半 ^{d)}	-0.07	-0.86*	0.60	0.48	0.34	0.75	0.70
3月後半 ^{d)}	0.29	0.58	-0.24	-0.12	-0.02	-0.67	-0.68
4月前半 ^{d)}	-0.52	-0.82*	0.28	0.10	-0.04	0.64	0.64
4月後半 ^{d)}	0.07	0.52	-0.34	-0.25	-0.20	-0.24	-0.13
ナシ開花始期							
「豊水」	0.27	-0.91*	0.86*	0.76	0.68		
「幸水」	0.27	-0.86*	0.83*	0.75	0.66		

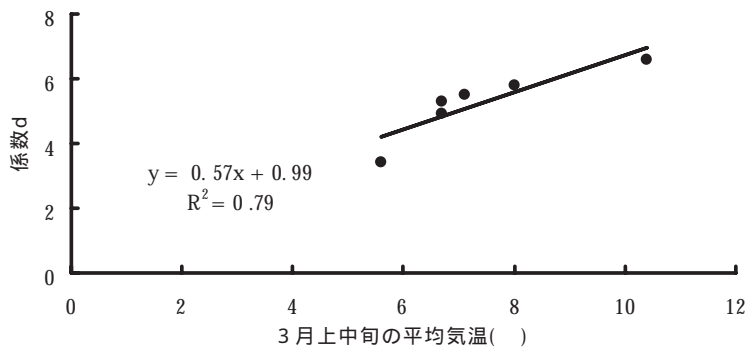
a) 累積飛散曲線; $y = 100(1 + \exp((c - x)d))$.

ただし, xは3月1日を1日目とした経過日数, cおよびdは係数.

b) 累積飛散日, 開花始期; 3月1日を1日目とした経過日数.

c)*; 5%有意, **; 1%有意.

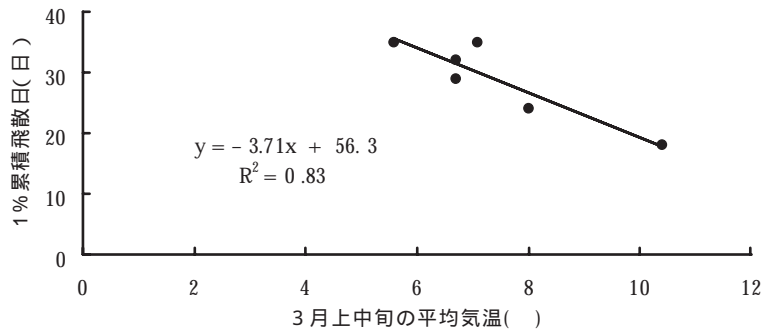
d) 上中旬; 1日から20日, 月前半; 1日から15日, 月後半; 16日から月末.



第2図 各年次の3月上中旬の平均気温と累積飛散曲線^{a)}の係数dとの関係

a) 累積飛散曲線; $y = 100/(1 + \exp((c - x)d))$.

ただし, xは3月1日を1日目とした経過日数, cおよびdは係数.



第3図 各年次の3月上中旬の平均気温と累積飛散曲線から求めた1%累積飛散日(3月1日を1日目とした経過日数)との関係

第2表 3月上中旬の平均気温から求めた推定累積飛散曲線および推定飛散日と実際の飛散日の関係

年次	推定累積飛散曲線の係数 ^{a)}		1%累積飛散日 ^{b)}		50%累積飛散日 ^{b)}	
	C ^{c)}	D ^{c)}	推定日	観察日	推定日	観察日
2001	53.3	5.1	3月31日	3月25日	4月23日	4月30日
2002	49.8	7.0	3月18日	3月31日	4月19日	4月16日
2003	54.9	4.2	4月5日	4月8日	4月24日	4月20日
2004	53.8	4.8	4月1日	4月2日	4月23日	4月27日
2005	53.8	4.8	4月1日	4月6日	4月23日	4月20日
2006	52.4	5.6	3月27日	4月2日	4月22日	4月20日

a) 推定累積飛散曲線; $Y = 100(1 + \exp((C - x)D))$.

ただし, xは3月1日を1日目とした経過日数, CおよびDは係数.

b) 累積飛散日は推定累積飛散曲線からの計算値および実際の累積飛散率が1%または50%を上回った日.

c) $C = D(\ln 99) + S_{1\%}$, $D = 0.57T + 0.99$.

ただし, $S_{1\%}$ は3月上中旬の平均気温から求めた1%累積飛散日($S_{1\%} = -3.71T + 56.3$), Tは3月上中旬の平均気温.

累積飛散日は, 実際の飛散日と2日から7日の差がみられた。

考 察

ナシ黒星病菌子のう胞子の飛散は, 3月下旬から4月上旬に始まり, 5月上旬から下旬に終息し, この間の降雨日に飛散するとされる(高梨ら, 1970; 梅本, 1993)。本報告でもほぼ同様な傾向がみられ, 子のう胞子の飛散が降雨日に起こることから, 子のう胞子累積飛散率は降雨日ごとに階段状に増加する特徴がみられた。そこで, 階段状の増加を平準化するため, 各調査日および前後3日間の累積飛散率の移動平均をとると, その推移は各年次ともシグモイド曲線に近似した。

本報告では子のう胞子の飛散消長をモデル化するために, 前述の移動平均の推移をシグモイド曲線の一つであるBoltzmann関数に当てはめ, その結果を累積飛散曲線とした。

御園生ら(1973)は3月以降に病葉を加温, 加湿状態に置くと, 子のう胞子の放出が早まると報告している。

本報告においても3月上中旬の平均気温が高いほど, 曲線から求めた1%累積飛散日は早まる傾向がみられた。しかし, 曲線の傾きを示す係数dは大きくなり, すなわち, 傾きは緩やかになり, 子のう胞子の飛散期間が長くなる傾向にあった。また, 3月前半および4月前半の降水量が多いほど, 曲線の傾きは急になり, 子のう胞子の飛散期間は短くなる傾向もみられた。

子のう胞子の飛散開始時期は, 前述の飛散状況調査法に準じて飛散状況を調査すれば確認できる。しかし, 事前に子のう胞子の飛散開始時期や最盛期を把握することは難しい。そこで, 前述の気象条件等との関係を利用して, 累積飛散曲線の推定を試みた。

各年次における推定累積飛散曲線および累積飛散曲

線の傾きには、大きな差はみられなかった。一方、両曲線の中心は、推定累積飛散曲線では3月上中旬の平均気温から求めた曲線の傾きおよび1%累積飛散日から逆算しているためか、年次によっては約7日の差がみられた。

推定累積飛散曲線から求めた推定累積飛散日と実際の飛散日と比較すると、飛散開始の目安となる推定1%累積飛散日は実際の飛散日と1日から13日の差がみられ、また、飛散最盛期の目安となる推定50%累積飛散日は2日から7日の差がみられた。この誤差は子のう胞子の飛散が3月前半や4月前半の降水量とも関係が深いことに加えて、子のう胞子の飛散が、その日に降雨があるかないかで左右されるためと考えられる。

前述したとおり、現在、子のう胞子の飛散状況を事前に推定する方法はない。このため、多少の誤差があ

っても、子のう胞子の飛散開始前の3月上中旬の平均気温から、飛散状況を推定できることは、薬剤防除の時期を判断するために有用と考えられる。

なお、累積飛散曲線の係数dおよび曲線から求めた1%累積飛散日は、ナシ開花始期とも相関があり、ナシ開花始期は、3月上中旬の平均気温と高い相関があるため、ナシ開花始期をもとに累積飛散曲線を推定してもほぼ同様な結果が得られる。

引用文献

- Chen, J. et al. (1999) J. Biol. Chem. 274 : 10113 - 10118
北島 博 (1989) 果樹病害各論．養賢堂，東京．
581pp.
御園生 尹ら (1973) 千葉農試研報 13 : 9 - 21
高梨和雄ら (1970) 園試報 A9 : 17 - 33
梅本清作 (1993) 千葉農試特報 22 : 1 - 99