
 論 文

鹿児島県のサザンカにおける輪紋葉枯病の病斑のタイプ分けと季節変動

奥田 絢子¹⁾・曾根 晃一²⁾・畑 邦彦^{2)*}

Classification of lesion types and their seasonal variations in zonate leaf blight of *Camellia sasanqua* in Kagoshima

OKUDA Ayako¹⁾, SONE Koichi²⁾ and HATA Kunihiko^{2)*}

* Corresponding author

¹⁾ 鹿児島大学大学院農学研究科 〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元1-21-24

Graduate School of Agriculture, Kagoshima University, 1-21-24 Korimoto, Kagoshima 890-0065, Japan

²⁾ 鹿児島大学農学部農林環境科学科 〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元1-21-24

Department of Environmental Sciences and Technology, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, 1-21-24 Korimoto, Kagoshima 890-0065, Japan

Received Aug 1, 2018 / Accepted Dec 1, 2018

Summary

In order to investigate the patterns of damage due to outbreak of zonate leaf blight of *Camellia sasanqua*, we observed in the field to classify types of lesions on the basis of morphological criteria and studied seasonal variations in the occurrence of each type. Consequently, these lesions were classified into five types; "without rim", "brown with rim", "white with rim", "irregular", and "with rim only". "Without rim" caused defoliation, while the others didn't. "Without rim", "brown with rim", and "irregular" produced propagules, which cause infection. Propagules were found throughout the year, especially in periods with high rainfall and the temperature from 15 to 28°C. "Without rim" appeared frequently in periods with high rainfall and mean temperature from 15 to 25°C. "Brown with rim" appeared frequently in high temperature seasons, while "white with rim" in low temperature seasons. It was suggested that a part of the former changed into the latter. Most of "irregular" appeared frequently on young leaves. "With rim only" was suggested that this type of lesion was just beginning to emerge, because this type was very small and appeared suddenly in early spring. From these properties, it was shown that "without rim" caused acute damage with defoliation, while "brown with rim" and "irregular" caused chronic damage. Therefore, it's suggested that different types of lesions play different roles in expansion cycle of this disease.

Key words: *Camellia sasanqua*, zonate leaf blight, lesion, seasonal variations, expansion cycle of disease

キーワード: サザンカ, 輪紋葉枯病, 病斑, 季節変動, 被害の拡大サイクル

1. はじめに

輪紋葉枯病は輪紋状の病斑を形成し、極めて多種の木本、草本植物で発生が知られている葉枯性病害である。本病は、野中・植原(1974a)が1973年3月に知覧町木床のチャ園で発見した。その後、同町の5ヶ所でも発生が確認され、さらに調査を行なった結果、喜入町小田代、田代町盤山、内之牧、鶴田町などのチャ園でも発生を確認、山間地帯を

中心とした鹿児島県内広域で本病が発生していることが判明した。罹病木では葉が褐変、落葉を引き起こしており、野中・植原(1974a, b)はその病徴から「チャ輪紋葉枯病」と呼ぶことを提案した。その後、ツバキ(周藤1977)、サザンカ(周藤1978)、ミズキ類(堀江1978)、ハマヒサカキ(村本ら1986)でも同様の病徴を示す病害が確認され、同じく「輪紋葉枯病」と呼称された。

平成28年度の鹿児島県における病害虫等の相談件数は

117件、そのうち病害の相談件数は62件であり、その中でも相談が多かったのが、輪紋葉枯病とごま色斑点病だった(鹿児島県 2017)。このように、本病は現在鹿児島県下で被害が多発しており、大きな問題となっている。そこで、本研究では特に被害が目立つサザンカ (*Camellia sasanqua*) に着目し、調査を行なった。

本病は、葉に赤褐色の円形の病斑を形成、数日で直径1~2cmに拡大する(野中・植原 1974b)。この罹病葉は早期に落葉し(野中・植原 1974a, b; 周藤 1977)、落葉などの被害が激しかった枝は衰弱していき、当年伸長する枝に展開する新葉は小型になる(陶山 2007)。本病の発生時は局部的に集団発生し(野中・植原 1974a)、ほぼ直径2mの円形の範囲に限ってのみ、激しい被害が見られた場合もあった(福田ら 1978)。本病の潜伏期間は2~3日であり(野中・植原 1974a)、主に春~初夏に発病し(野中・植原 1974a, b; 周藤 1977)、夏期には発病が少なくなるが、冬期にも軽微な発病は確認されている(陶山 2007)。また、降雨の激しい時期には本病の被害が拡大することが示唆されている(福田ら 1978; 村本ら 1986; 陶山 2007)。

本病の病斑上には灰白色の菌糸塊が形成される(野中・植原 1974b)。この菌糸塊は菌体(周藤 1977)や繁殖体(propagule)(陶山 2007; Masuya et al. 2009)とも表現されており、本研究では菌体と表現する。菌体の内部は偽柔組織様であり(野中ら 1974a; 周藤 1977)、表面はスポロドキア様の構造となっている(野中ら 1974a, b)。本菌は15~25°Cでよく生育するが、適温は22~23°Cであり、菌体の形成もこの温度付近で良好であるとされている(野中ら 1974a, b)。また、菌体の形成には強い光線が必要とされる(野中ら 1974a, b)。日光ならば6時間以上の照射が必要となり、光を当てた場合でも、温室、室内条件では菌体はほとんど形成されず、水を噴霧した箱の中では菌体が多く形成された(野中・植原 1978)。菌体形成から時間が経過すると、表面が次第に黒色となり、直径約3 μ の球体粒子が多数形成されるが、この粒子に発芽性は認められていない(野中ら 1974a, b; 周藤 1977)。本菌の分類学上の所属は未定であるとされてきたが(野中・植原 1974a, b; 周藤 1977, 1978)、Masuya et al. (2009)は分子系統解析を行うとともに、ここで言う菌体(Masuya et al. (2009)では“discoïd multicellular propagule”)や球体粒子(Masuya et al. (2009)では“microconidia”)などの無性的な形態を類縁群と比較し、本菌を子囊菌門チャワソウ目キク科の新属新種 *Haradamyces folicola* と命名した。しかし、未だに本菌の胞子形成は確認されておらず、本病の感染源となっていることが知られているのは菌体のみである。

本病の病斑は急速に拡大するもの(野中・植原 1974a, b, 1977; 周藤 1977; 陶山 2007)と拡大しないもの(野中・植原 1977; 陶山 2007)が知られている。また、野中・植原(1977)は新葉時の小病斑や灰白色化した古い病斑の存在も確認している。拡大しない病斑では本病の特徴である葉の脱落性は見られず(奥田 2016)、小病斑と古い病斑には菌体の形成が見られなかった(野中・植原 1977)。また、今回我々が行なった野外観察では、これまでの報告にない新たな形状の病斑が確認された。このように、本病の病斑は形態や性状いずれも多様性が見られるが、あまり客観的に整理されていないのが現状である。

そこで、本研究では第一にこれらの病斑がどのような特徴を有しているのか改めて整理し、客観的な基準に基づいて病斑のタイプ分けを行なった。一方、ここで類別した各タイプの病斑は出現時期に違いが見られた。このことから病斑ごとに形成条件が異なり、その条件には温度や降雨といった気象条件が関与することが考えられた。そこで、本研究では第二に各タイプの病斑と菌体の出現傾向及びそれらに影響する気象条件の検討を行なった。これらは被害が目立つ割にあまり研究されていないサザンカを材料に21ヶ月にわたって野外で実施した被害調査に基づくものである。

2. 調査地と方法

本研究は鹿児島県西部の薩摩半島に位置するかごしま健康の森公園、八重山公園、清浦ダム(以下、健康の森、八重山、清浦)の3ヶ所で植栽されていたサザンカを対象に行なった。健康の森は鹿児島市犬迫町にある公園で、標高は134mであった。一般的な公園設備が設けられた区画と広葉樹林を含む区画からなる公園であり、サザンカは園内各所に植栽されていた。八重山は鹿児島市郡山町にある公園で、標高は415mであった。周囲をスギ、ヒノキの人工林と広葉樹林に囲まれた自然公園であり、サザンカは主として園内の歩道沿いに植え込みとして植栽されていた。清浦は薩摩川内市の国道328号線沿いのダム湖にある公園で、標高は213mであった。山間のダム湖の上流側に開けたスペースに設けられた公園となっており、その区画の一部及び国道沿いにサザンカが植栽されていた。

調査は2016年4月から2017年12月まで、3週間に一度の頻度で行なった。各調査は原則として1日で実施したが、悪天候などでやむなく調査を中断した場合、2日以内に調査を再開、終了した。各調査地において、調査を開始した2016年4/26にサザンカ5株を選択して調査株とした(表1, 2)。健康の森では園内の芝生の上で6株が植栽されていた

表1 調査株の大きさ (単木)

調査地	番号	高さ(m)	直径(m)
健康の森	①	1.0	1.0
	②	1.2	1.2
	③	1.0	1.2
	④	1.2	1.5
	⑤	1.0	1.0
清浦	①	2.7	2.0
	②	2.2	1.8
	③	3.4	2.5
	④	2.6	2.0
	⑤	3.6	2.4

表2 調査株の大きさ (植え込み)

調査地	番号	高さ(m)	幅(m)	全長(m)
八重山	①	1.0~1.2	1.5	5.0
	②	0.6~0.8	1.5~2.0	15.0
	③	0.6~0.8	半径3.5mの半円	
	④	1.2	1.2	4.0
	⑤	0.6~1.0	1.0~1.5	4.5

場所で5株を選択し①~⑤の番号を振った。①~③はまとめて植栽されており、④と⑤は①~③から5m離れた場所に植栽されていた。周囲にはケヤキ2本とタブノキが植栽されていた。清浦では国道沿いの駐車場に植栽された2株と公園内に植栽された3株を選択し、駐車場の2株に①~②、公園内の3株に③~⑤と番号を振った。①と②は駐車場の両端に植栽されており、周囲にはサクラがまとめて植栽されていた。③~⑤は公園内の開けたスペースに植栽されており、下層にはススキ、チカラシバを中心にイネ科草本が生育していた。八重山では園内の離れた場所に植栽された植え込み5ヶ所を選択し、①~⑤の番号を振った。これらの植え込みは密に植栽されており、株の判別が困難であったが、毎回決まった位置で、1株内と推定される範囲内で観察を行ったため、以下では他の調査地における株と同様に扱った。①はコテージ裏の階段横に植栽されており、周囲にはアベリアの植え込み、タブノキ、ヒサカキが植栽されていた。②は歩道脇に植栽されており、周囲にはヤブツバキ、カナクギノキ、サクラ2本が植栽されていた。③はステージ前のトイレ横に植栽されており、周囲にはヒサカキ、クスノキ、タブノキ、サクラが植栽されていた。④と⑤は歩道脇のトイレを挟んで植栽されていた。④の周囲にはチャ、マユミ、ヤブツバキ、イスノキが植栽されていた。⑤の周囲にはタブノキが植栽されていた。

各調査株では、毎回枝5本を任意に選び、それぞれの枝に付いている新葉と旧葉の枚数、そのうちの罹病葉の枚

数、出現した病斑の形態、菌体の有無を観察、記録した。この際、各調査株全体の状況(落葉及び枝の透けの程度、樹上に残った枯死葉の程度)も観察した。株または植え込み全体と観察した枝は、デジタルカメラ(SONY DSC-HX60V, SONY DSC-WX350, Nikon COOLPIX S3700)を用いて撮影した。病斑の形態は病斑の色、形状、病斑の周囲が縁取られているか、という点について観察、記録した。病斑は形態に基づいてタイプ分けを行なった。当年枝に付いている葉を新葉、前年枝に付いている葉を旧葉とした。サザンカでは時に年に複数回新葉が発生するが、大多数の葉は春季に展葉する。春季の展葉は多くの対象木で4~5月に見られたため、この時期にそれまでの新葉を旧葉のカテゴリーに移した。この際、対象株によって展葉の時期にばらつきがあり、カテゴリー変更は株ごとに順次行った。そのため、データ処理は新葉と旧葉という形で行った。なお、健康の森では、2016年4/26の①の枝1本、②の枝1本の記録に不備があったため、データから除外した。

罹病率((確認できた罹病葉の枚数)/(全観察枚数)×100(%))と全罹病葉に対する各タイプの病斑が見られた罹病葉の比率(以下本文では、単に「各タイプの比率」と表現する)((あるタイプの病斑が見られた罹病葉の枚数)/(全罹病葉枚数)×100(%))を、新葉、旧葉でそれぞれ各調査日の全調査地のデータをまとめて算出した。罹病率は全体的な発病状況の量的変動を示すために求めた。各タイプの病斑の相対比率を求めたのは、罹病葉における各タイプの相対的な重要度とそれらの移り変わりを見るためである。また、菌体の出現頻度((菌体が出現した対象木の本数)/(全対象木の本数(=15))×100(%))も同様に算出した。出現数でなく出現頻度にしたのは、野外における菌体の正確な計数が極めて困難であったためである。

各タイプの病斑の出現時期が気象条件によって影響を受けているか調べるため、調査地の降水量と気温について、各タイプの比率及び菌体の出現頻度との関係を検討した。降水量や気温は調査地ごとに異なるため、ここではデータを調査地別に用いた。接種実験の結果から、本病の発病にかかる時間は1週間程度であることが判明しているため(奥田 2016)、調査前1週間の気象データを解析に用いた。解析に用いた降水量と気温は、各調査地の調査前1週間(調査日を含む)の日ごとの降水量の合計値と日ごとの平均気温の平均値である。降水量と気温は気象庁(2016, 2017)の鹿児島市のデータを用いた。降水量の計算は、健康の森は鹿児島地点、八重山と清浦は八重山地点のデータを基に行なった。気温は鹿児島地点(標高3.9m)のデータを用いて、調査地の標高で補正して算出した。降水量、気温と各タイプの比率の関係は Spearman の順位相関係数 r_s を用い

て解析，検定した。

3. 結果と考察

3-1. 病斑のタイプ分け

観察の結果，本病の病斑には異なる形状及び性質を有するものが見られ，それらは以下の6つのタイプに類別された。

①濃黄緑色～褐色の病斑で，明瞭な縁取りが見られなかったもの（以下「縁なし」：図1）。このような形態を示す罹病葉は非常に脱落しやすく，多くは軽く手で触れただけでも脱落した。また，このような病斑は新鮮な落葉上でも多く観察された。このタイプの病斑上にはしばしば菌体の形成が確認された。

②葉全体が濃黄緑色～褐色に変色し，全体に萎凋が見られたもの（以下「全体」：図2）。「縁なし」と同じく非常に脱落しやすかった。また，本病により発生したと思われる新鮮な落葉の大半はこのタイプであった。このタイプの罹病葉上にもしばしば菌体が形成された。

③褐色の病斑で，明瞭な縁取りが見られたもの（以下「褐色・縁あり」：図3）。病斑の周囲が暗褐色に変色し，健全部分との境界が明瞭であった。「縁なし」「全体」と比較すると脱落性は極めて低く，手で触れただけで脱落するケースはごく少なかった。新鮮な落葉上ではこのタイプの病斑はあまり見られなかった。このタイプも病斑上にはしばしば菌体が形成された。

④白色の病斑で，明瞭な縁取りが見られたもの（以下「白色・縁あり」：図4）。「褐色・縁あり」と同じく脱落性は低く，新鮮な落葉上でもこのタイプの病斑はほぼ見られなかった。このタイプでは病斑上に菌体の形成が確認されたケースはなかった。時期によっては「褐色・縁あり」と中間的なものも見られたが（図5），その場合は病斑の色が概ね白色になったと見られるもののみ「白色・縁あり」とした。なお，菌体は見られなかったものの，色以外の病斑の形態，特に独特な縁取りが「褐色・縁あり」と同様であり，かつ上記のように中間的な病斑が見られたことから，本病の病斑と判断された。

⑤褐色～暗褐色の病斑で，病斑が円形にならなかったもの（以下「不規則」：図6）。「褐色・縁あり」「白色・縁あり」と同じく脱落性は低く，新鮮な落葉上でもこのタイプの病斑はほぼ見られなかった。このタイプは葉の先端や辺縁部に形成され，病斑部分ではしばしば葉が収縮し，巻き込みが見られた。大半は病斑の周囲が縁取られていたが，縁取りが明瞭でないものも確認された。他のタイプと形状がかなり異なるため，他の病気も疑われたが，病斑上に明確に



図1 「縁なし」の病斑



図2 「全体」の病斑



図3 「褐色・縁あり」の病斑



図4 「白色・縁あり」の病斑



図5 縁の中が白変しかけている「褐色・縁あり」



図6 「不規則」の病斑



図7 「緑のみ」の病斑

本病のものと同一の菌体が形成されたため，本病の病斑と判明した。

⑥赤色～黒色の病斑で，大きさがごく小さいもの（以下「緑のみ」：図7）。「褐色・縁あり」「白色・縁あり」「不規則」の縁取りと類似した形状であったが，縁取りの内側の色が判別できなかったため，他の病斑と区別した。「褐色・縁あり」「白色・縁あり」「不規則」と同じく，脱落性はほぼ見られなかった。病斑上に菌体は形成されなかったが，これは菌体形成に必要なスペースがなかったためと思われる。

以上のように，形態で類別された各タイプの病斑はそれぞれ異なる性質を示した（表3）。これら各タイプは被害の重篤化に影響する病斑の拡大性や葉の脱落性，感染源である菌体形成といった性質が異なっており，病斑タイプの類別は本病の発生，重篤化や感染拡大といった過程を明らかにする上で必要な手順と考えられた。特に，これらの性質のうち病斑の拡大性や葉の脱落性といった性質は病斑にお

表3 病斑のタイプと性質

病斑のタイプ	縁の形成	拡大性	脱落性	菌体形成
縁なし	無	高	高	有
全体	無	／	高	有
褐色・縁あり	有	低	低	有
白色・縁あり	有	低	低	無
不規則	有	低	低	有
縁のみ	有	低	低	無

ける縁の有無と対応しており、病斑タイプを大きく縁のないものとあるものに分けて考えることが可能であると考えられた。

縁のない病斑タイプ、「縁なし」と「全体」はどちらも非常に脱落しやすくなっており、病斑上には菌体が形成されるという性質が共通して確認された。実は、「縁なし」と「全体」は接種実験において再現が可能であり、接種葉上では「縁なし」と同様の形状の病斑が、数日から1週間程度で急速に拡大して、葉全体に広がることを確認されている（奥田 2016）。これらのことから、この2タイプは基本的に同質の病斑であり「縁なし」が拡大し葉全体まで広がったものが「全体」であると考えられた。しかも、その変化は上記のように極めて急速に起こるため、「縁なし」は正に発病したばかりで病斑が全体に広がっている途中の段階が観察時に捉えられたものと考えられた。そこで、以下では「全体」を「縁なし」に含め、同一タイプの病斑として扱う。

一方、縁のある病斑タイプは脱落しにくく拡大性が低いという特徴が共通しているものの、「白色・縁あり」に菌体が見られなかったり、「不規則」は他と形状が大きく異なったりなど、いくつか留意すべき違いが見られ、また急速に他の形態になるようなこともなかったため、以下でも分けて扱った。

3-2. 各病徴の季節変動

図8は各調査日の新葉及び旧葉における本病の罹病率の変動を全調査地まとめて示したものである。調査期間を通して新葉、旧葉とも発病が見られた。新葉では2016年4月の2.4%から6月の10.0%まで罹病率が上昇したが、その後やや低下し、7月から12月までは約7%で推移した。12月から罹病率が徐々に上昇し、翌年4月には10.5%となった。その後6月の1.8%まで罹病率は大きく低下した。以降は徐々に上昇し、11月には6.3%となった。このように、1年目と2年目において新葉の特に春季における罹病率の変動パターンは異なっていた。旧葉では調査日ごとに罹病率が大きく変動したが、全体的な傾向としては、2016年の4～6月に10%程度と比較的高い値を示していた罹病率は9月末

の2.8%まで低下した後に上昇に転じ、翌年5月の18.5%までは上昇傾向を示した。以降は11月の6.8%まで低下傾向に転じた。

図9は菌体の出現頻度の変動を示したものである。2017年5/23を除く全調査日で菌体の出現が確認された。その5/23も、対象株以外のサザンカでは菌体の出現が確認された。したがって、菌体は通年形成されていると考えられる。ただし、菌体の出現頻度には調査日によって大きな差があり、2016年、2017年とも5月から12月にかけて、7月と9月をピークとする二山型の推移を示した。これに2017年春のピークも加えると三山型となる。こういった変動には気象条件の関与が考えられるため、降水量及び気温と出現頻度の関係を解析した。その結果、菌体の出現頻度と調査前1週間の降水量の間には有意な正の相関が見られた（図10： $r_s=0.261$, $p=0.016$ ）。また、菌体の出現頻度と調査前1週間の平均気温の間にも有意な正の相関が見られた（図11： $r_s=0.460$, $p<0.0001$ ）。ここで菌体の出現頻度が最大値の60%を示したのは15.4～27.9°Cであり、それ以下もしくはそれ以上では40%以下しか見られなかった。

次に、各タイプの比率から、本病における各タイプの病斑の相対的な変動とそれに関与する気象条件の解析を試みた。ただし、後者については葉齢の観点から比較的均一と考えられる新葉についてのみ行った（旧葉では複数の葉齢が混在しているため）。

図12は「縁なし」の比率の変動を示したものである。「縁なし」は旧葉ではあまり見られず、主に新葉で見られた。新葉では特に2016年4月、6月、2017年7月、8月と両年で異なる時期に「縁なし」の比率が高くなった。一方、「縁なし」の比率と気象条件の関係については、新葉での「縁なし」の比率と調査前1週間の降水量の間には有意な正の相関が見られた（図13： $r_s=0.329$, $p=0.002$ ）。新葉での「縁なし」の比率と調査前1週間の平均気温の間には有意な正の相関が見られた（図14： $r_s=0.231$, $p=0.032$ ）。しかし、散布図（図14）の形を見ると、特に高い「縁なし」の比率が見られたのは15°Cから25°Cの間であり、15°C以下、25°C以上になると「縁なし」の比率は低下し、10°C以下、29°C以上では全く見られなかった。

図15は「褐色・縁あり」の比率の変動を示したものである。「褐色・縁あり」は新葉、旧葉共にほぼ通年出現していた。新葉では2016年は5月と8月、2017年は7月と9月をピークとする二山型の変動を示した。旧葉では2016年の6月までは5%程度で推移したが、7月から翌年9月までは10～40%程度の範囲で増減を繰り返し、10月以降は10%程度となった。新葉と旧葉を比較すると、冬季～春季を除けば新葉の方がやや高い傾向が見られた。なお、新葉におけ

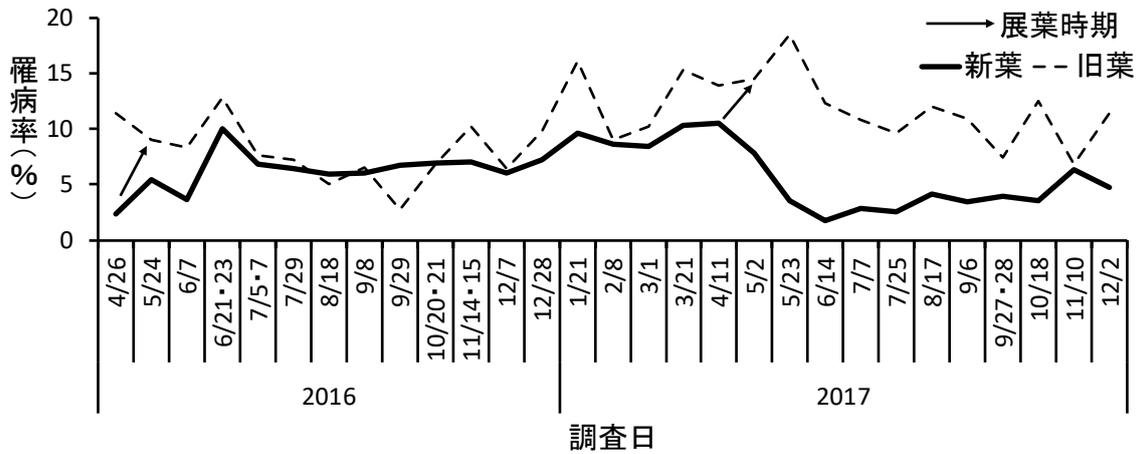


図8 輪紋葉枯病の罹病率の変動

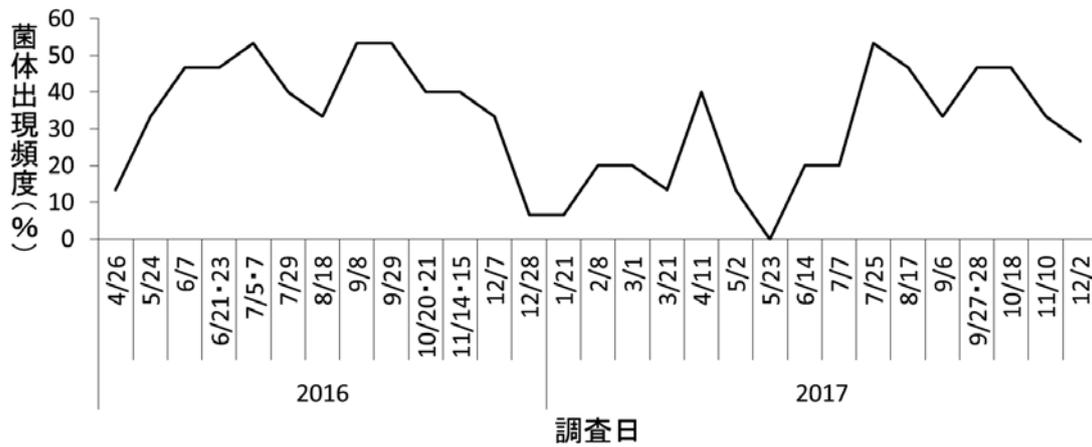


図9 菌体の出現頻度

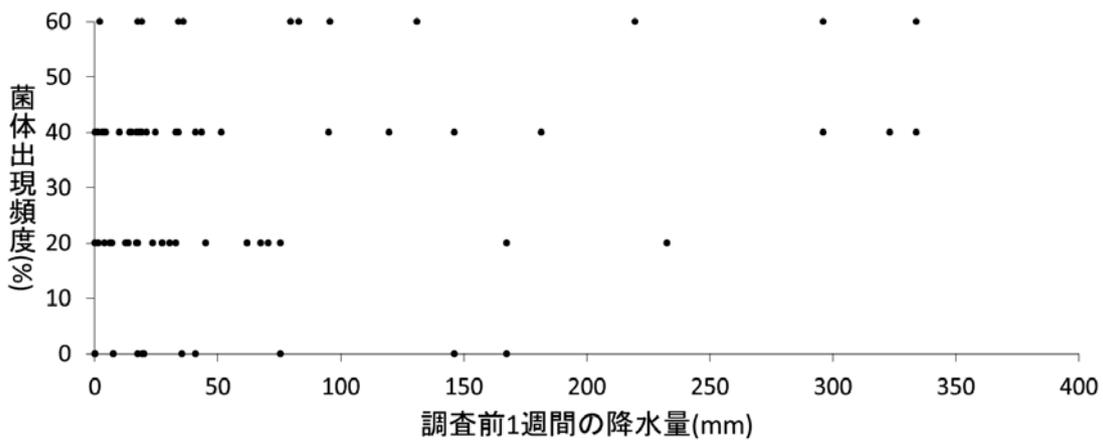


図10 調査前1週間の降水量と菌体の出現頻度の関係

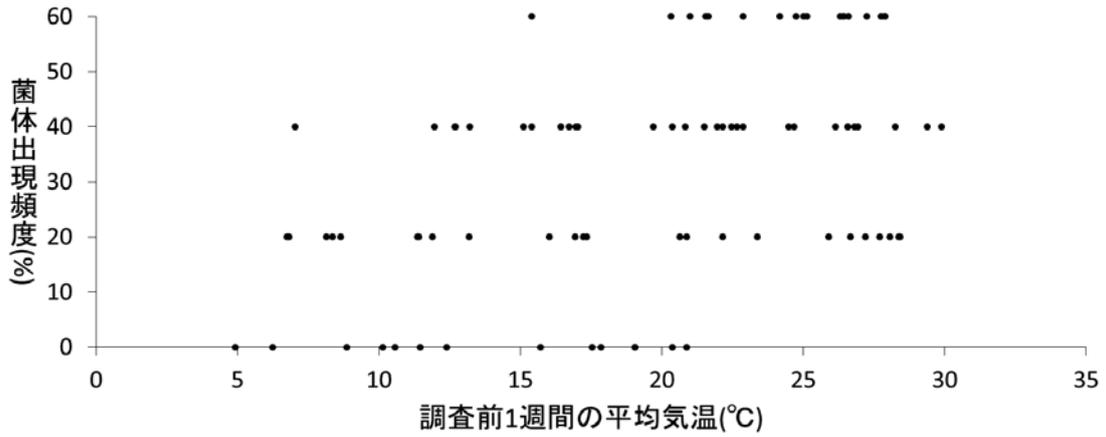


図11 調査前1週間の平均気温と菌体の出現頻度の関係

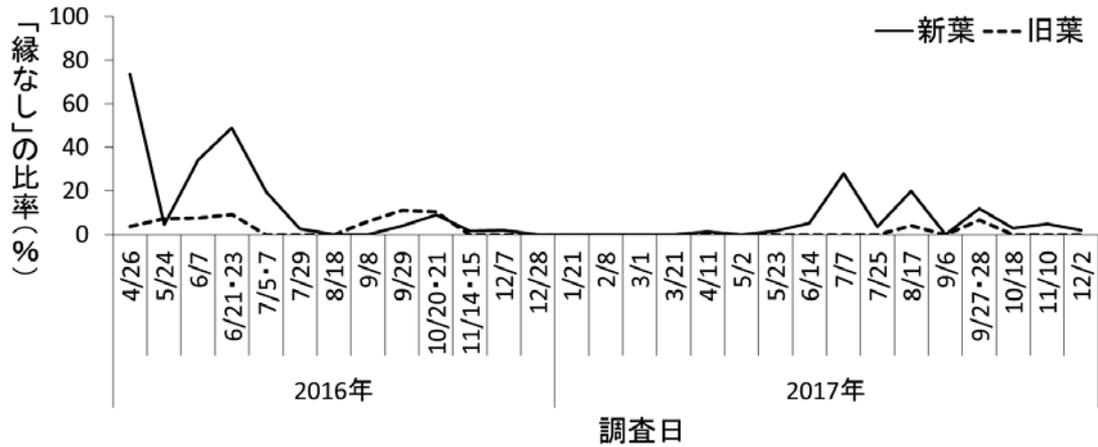


図12 全罹病葉に対する「縁なし」が見られた罹病葉の比率の変動

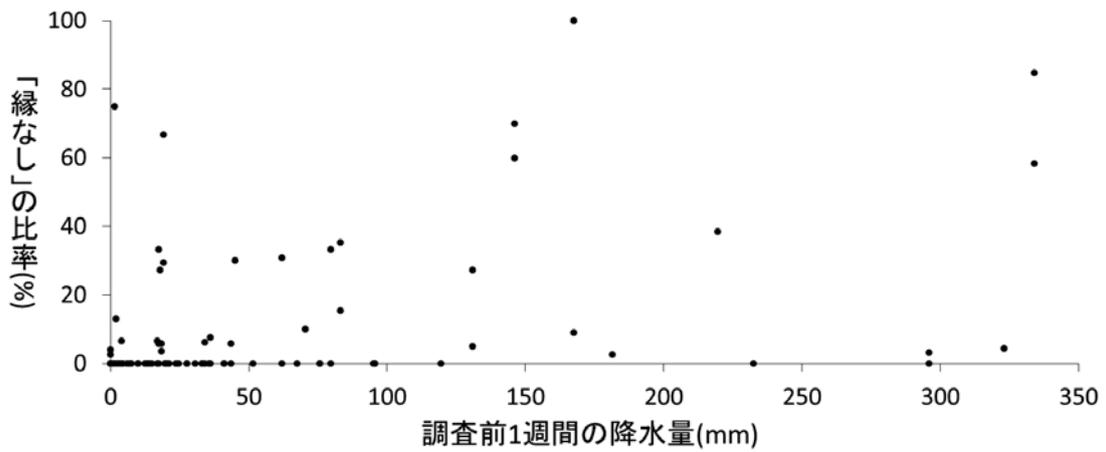


図13 調査前1週間の降水量と新葉での「縁なし」の比率の関係

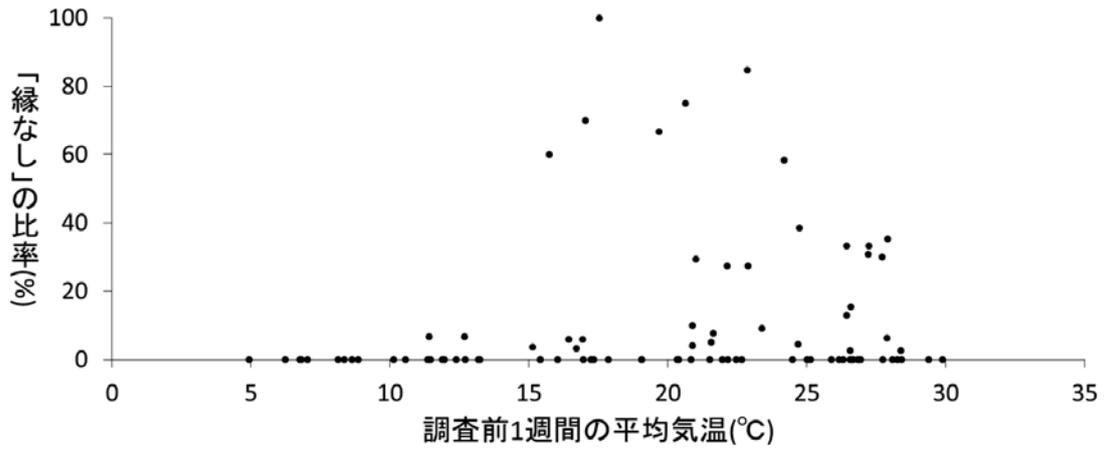


図14 調査前1週間の平均気温と新葉での「縁なし」の比率の関係

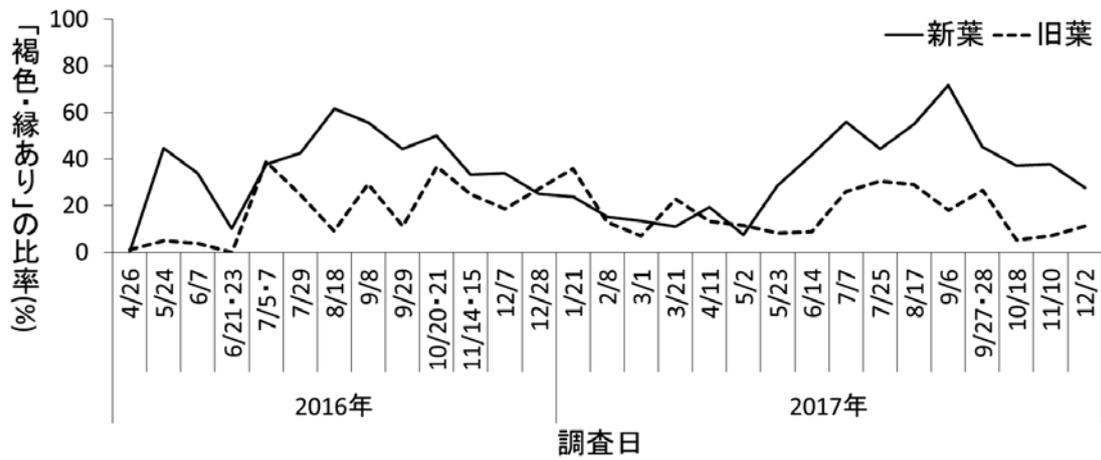


図15 全罹病葉に対する「褐色・縁あり」が見られた罹病葉の比率の変動

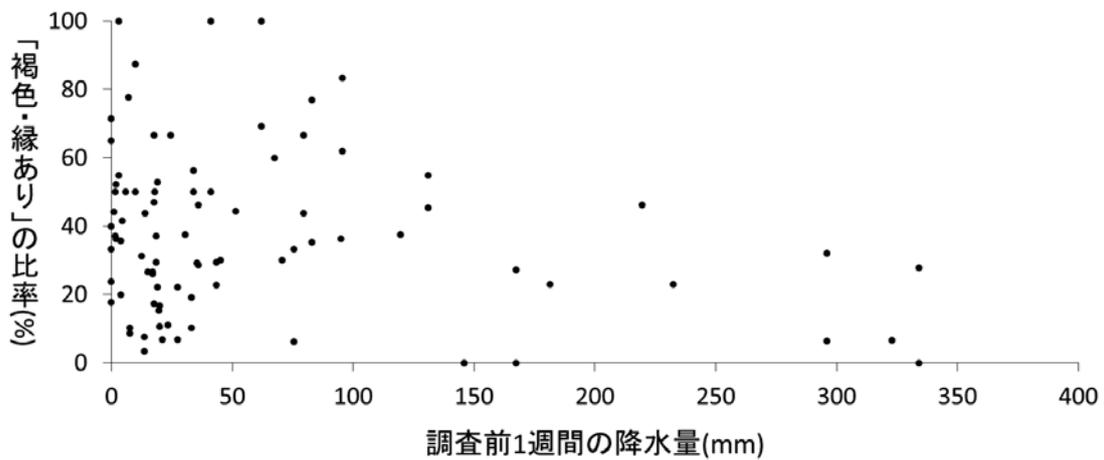


図16 調査前1週間の降水量と新葉での「褐色・縁あり」の比率の関係

る比率が2016年4月、6月に特に低くなっているのは、「緑なし」の比率が高かったため、相対的に「褐色・緑あり」の比率が低下したためではないかと考えられる。新葉での「褐色・緑あり」の比率と気象条件の関係については、調査前1週間の降水量との間に有意な相関は見られなかったものの（図16： $r_s = -0.158$, $p = 0.143$ ）、調査前1週間の平均気温との間には有意な正の相関が見られた（図17： $r_s = 0.612$, $p < 0.0001$ ）。

図18は「白色・緑あり」の比率の変動を示したものである。旧葉では通年出現しており、60～100%と比率も高かった。新葉では2016年6月前半までほぼ確認できなかったが、6月後半に出現し始め、以降は多少の増減はあるものの、全体としては上昇を続け、2017年5月には76.5%となった。7月には8%まで比率が急低下したが、再び上昇し、12月には61.1%となった。ここで2017年5～7月に比率が急低下したのは前年の新葉をこの時期に旧葉のカテゴリーに移したためと思われる。新葉と旧葉を比較すると、2017年1/21を除いて旧葉の方が高く、特に春から初秋にかけてはその差が大きかった。新葉での「白色・緑あり」の比率と気象条件の関係については、調査前1週間の降水量との間に有意な相関は見られなかったものの（図19： $r_s = -0.175$, $p = 0.105$ ）、調査前1週間の平均気温との間には有意な負の相関が見られた（図20： $r_s = -0.551$, $p < 0.0001$ ）。

図21は「不規則」の比率の変動を示したものである。「不規則」は旧葉ではほとんど見られなかったが、新葉では概ね年中見られ、2016年の6月をピークに多少の変動はありながらも全体としては低下傾向を示した。新葉での「不規則」の比率と気象条件の関係については、調査前1週間の降水量（図22： $r_s = -0.007$, $p = 0.948$ ）、平均気温（図23： $r_s = -0.002$, $p = 0.984$ ）とも有意な相関は見られなかった。

図24は「緑のみ」の比率の変動を示したものである。新葉では2016年4～5月と2017年6月に突発的な出現が見られたが、その他の調査日では10%以下と低かった。しかし、冬から翌春にかけては低率ながらコンスタントに見られた。旧葉では0～20%程度の範囲で比率が推移した。新葉での「緑のみ」の比率と気象条件の関係については、調査前1週間の降水量との間に有意な相関は見られなかったが（図25： $r_s = -0.073$, $p = 0.496$ ）、調査前1週間の平均気温とは有意な負の相関が見られた（図26： $r_s = -0.427$, $p < 0.0001$ ）。散布図を見ると、「緑のみ」は約5°Cから25°Cで出現し、25°Cを超えるとほぼ出現は確認できなかった。特に高い比率が見られたのは15～22°Cであった。

罹病率の変動（図8）について、旧葉で見られた大きな変動は、本病がしばしば激しい落葉を引き起こし、結果として罹病葉が減少すること、すなわち激害の発生が必ずし

も持続的な高い罹病率に結びつかないことが影響していると考えられる。更に、旧葉は新葉と比べて観察枚数が4分の1以下と少なく、僅かな罹病葉数の増減も罹病率の変動に大きく影響したと考えられる。一方、5～7月の新葉における罹病率の変動は2016年と2017年では大きく異なっていた。2017年4月以降に見られた新葉の罹病率の低下については、それまでの新葉を旧葉のカテゴリーに移したためという可能性も考えられるが、6月以降の変動に影響していたとは考えにくい。この違いに影響しうる要因として、一つは降水が考えられる。接種試験の結果、本病の発病には非常に高い湿度が必要とされている（野中・植原 1974c；奥田 2016）。このために自然界では本病の感染、発病に降雨が必要となると考えられる。気象庁（2016, 2017）のデータによると、2016年は平年より降水量が多く、2017年は降水量が平年より少なかった。2016年の梅雨に罹病率の急上昇が見られ、2017年の梅雨に罹病率がそれほど増加しなかったのはこのことを反映している可能性がある。

菌体については通年形成されているものの、時期によって出現頻度は大きく異なり（図9）、それには降水量と気温が関与しているものと考えられた（図10, 11）。本病の病斑を湿室、室内、水を噴霧した箱の中に入れた場合、水を噴霧した箱の中で最も菌体が形成されたという報告があるが（野中・植原 1978）、これは今回示唆された菌体形成と降雨の関係を裏付けるものだと思う。一方、菌体の形成が良好に行なわれるのは15～27.5°Cであることが知られているが（野中・植原 1978）、今回も出現頻度の最大値が見られたのは15.4～27.9°Cであり、これに近い結果となった。今回菌体の出現頻度が最も高くなった7月と9月は梅雨と秋雨の時期にあたり、温度条件も菌体の形成に適しているため、菌体の出現頻度が上昇したと考えられる。一方で出現頻度が前後の時期に比べて低下した8月から9月初旬は、降雨が少なくなり、かつ気温が高くなる時期である。こういった条件がこの時期の出現頻度の低下に影響したと考えられる。調査株で菌体の出現が確認されなかった2017年5/23は、気温は好適な範囲だが、調査前1週間の降水量が0mmであり（気象庁 2017）、それが菌体の出現頻度の低下に影響したと考えられる。以上のように、菌体の形成自体は通年行なわれているが、形成される量は降雨と温度条件に左右され、両者が揃う7月と9月は特に菌体形成が盛んになると考えられる。なお、今回はあくまで調査株単位での菌体の出現率であって、直接菌体の量を計測したものではなく、従ってあまり精度の高いデータとは言いにくい。菌体の発生状況や発生条件をより精密に明らかにするためには、何らかの形でより精度の高い計測法を工夫する必要があると思われる。

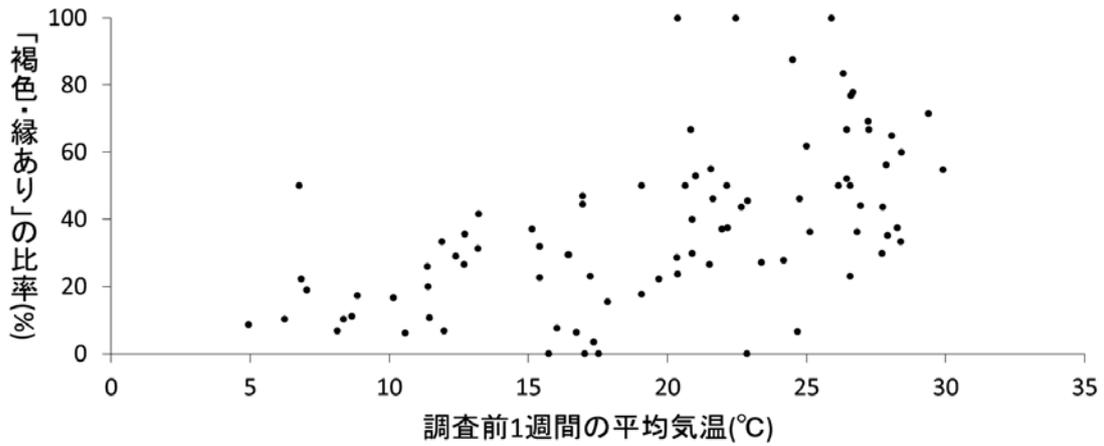


図17 調査前1週間の平均気温と新葉での「褐色・緑あり」の比率の関係

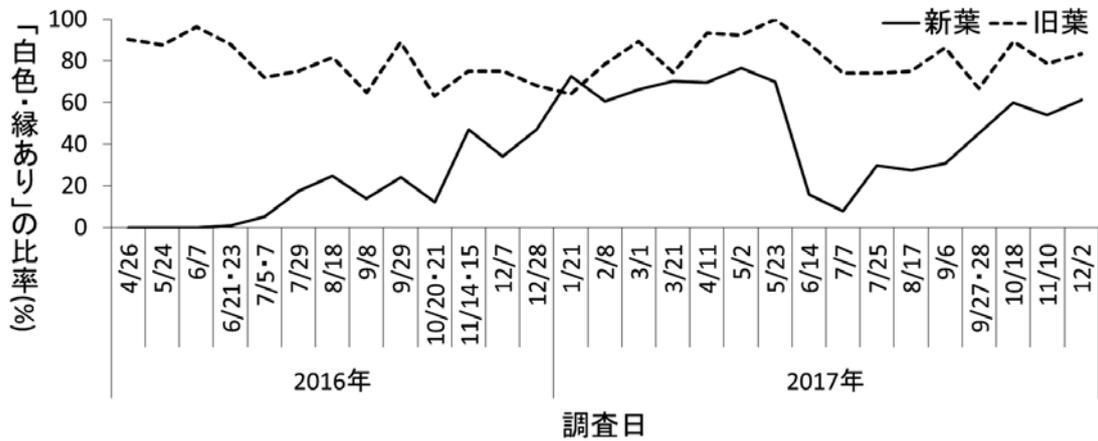


図18 全罹病葉に対する「白色・緑あり」が見られた罹病葉の比率の変動

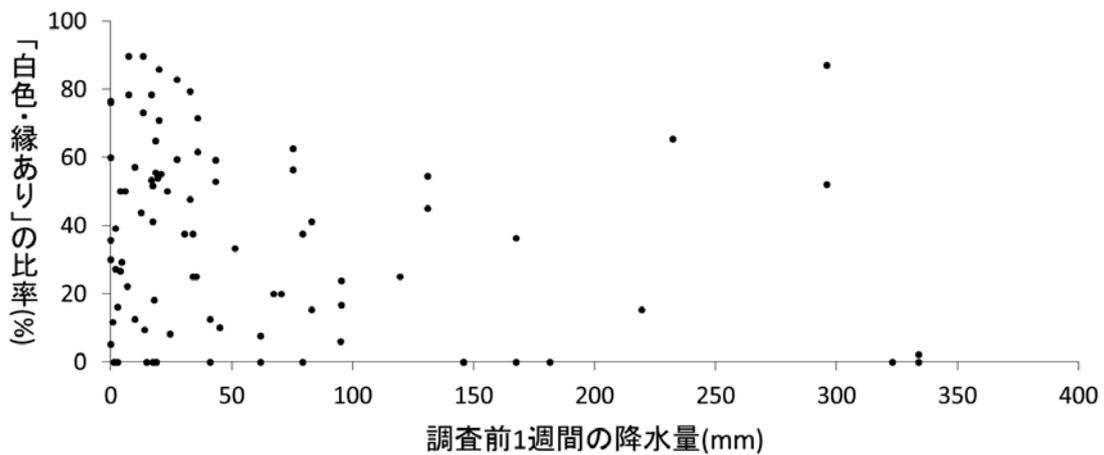


図19 調査前1週間の降水量と新葉での「白色・緑あり」の比率の関係

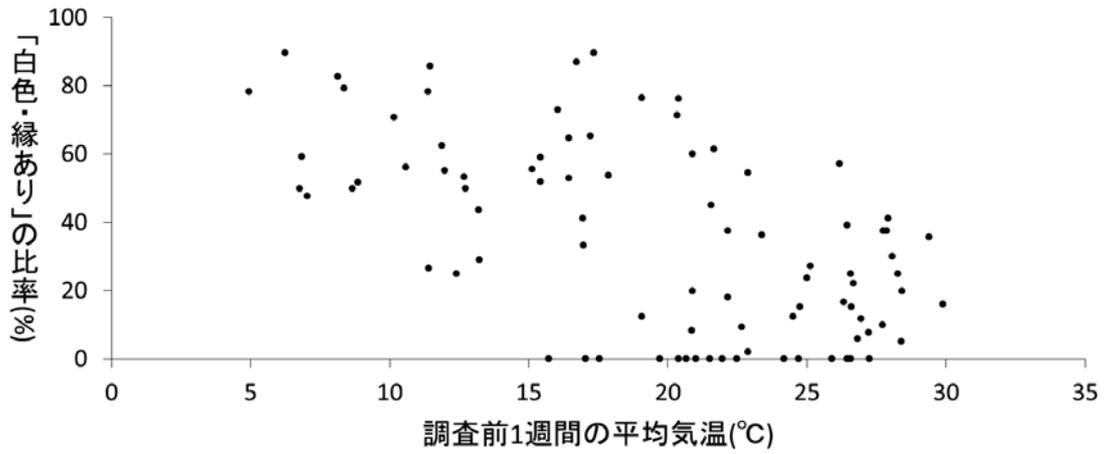


図20 調査前1週間の平均気温と新葉での「白色・緑あり」の比率の関係

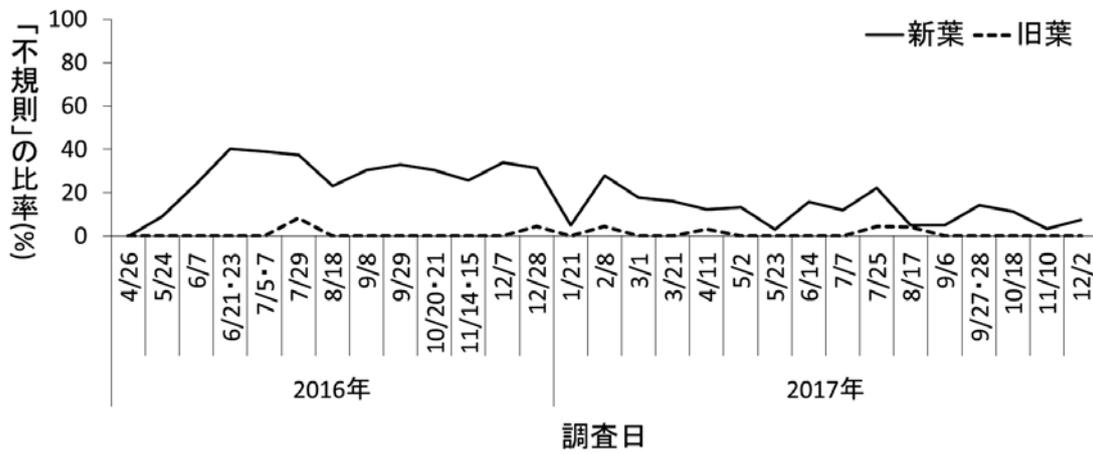


図21 全罹病葉に対する「不規則」が見られた罹病葉の比率の変動

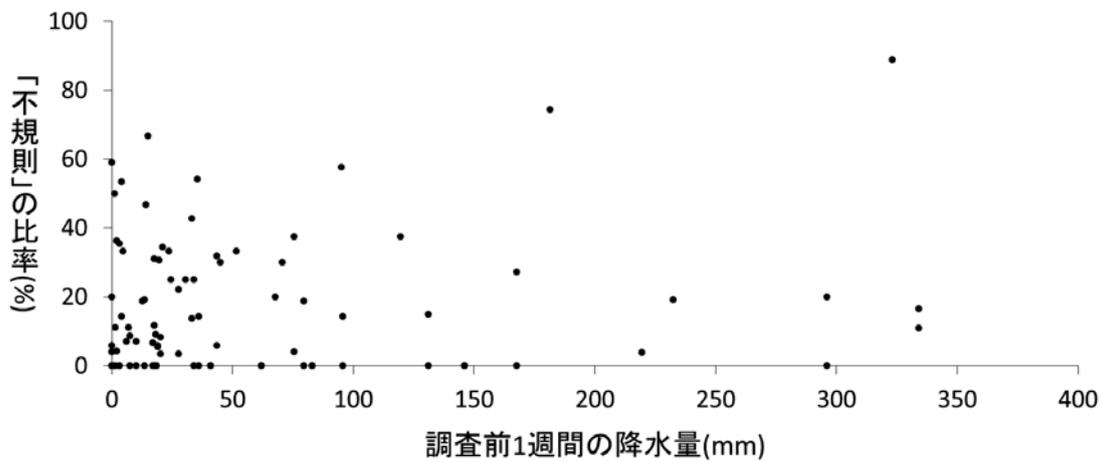


図22 調査前1週間の降水量と新葉での「不規則」の比率の関係

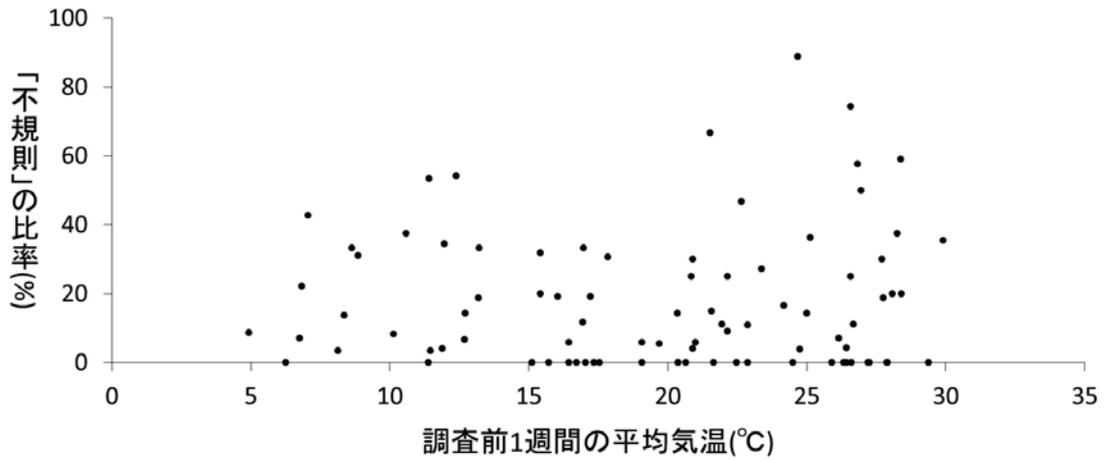


図23 調査前1週間の平均気温と新葉での「不規則」の比率の関係

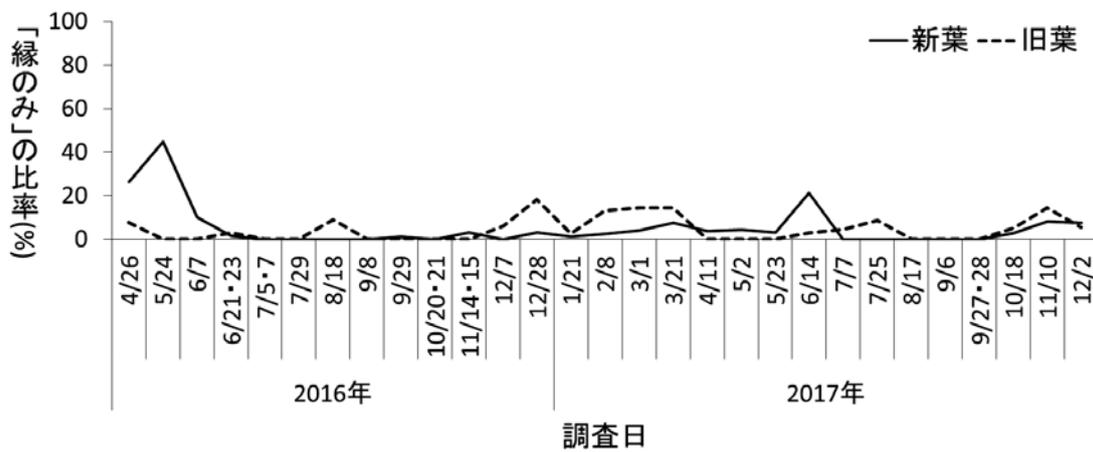


図24 全罹病葉に対する「緑のみ」が見られた罹病葉の比率の変動

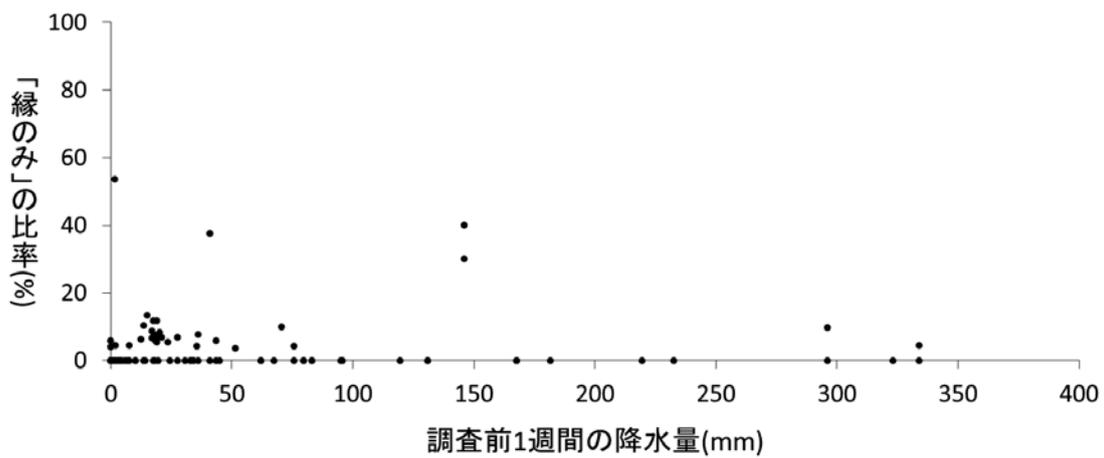


図25 調査前1週間の降水量と新葉での「緑のみ」の比率の関係

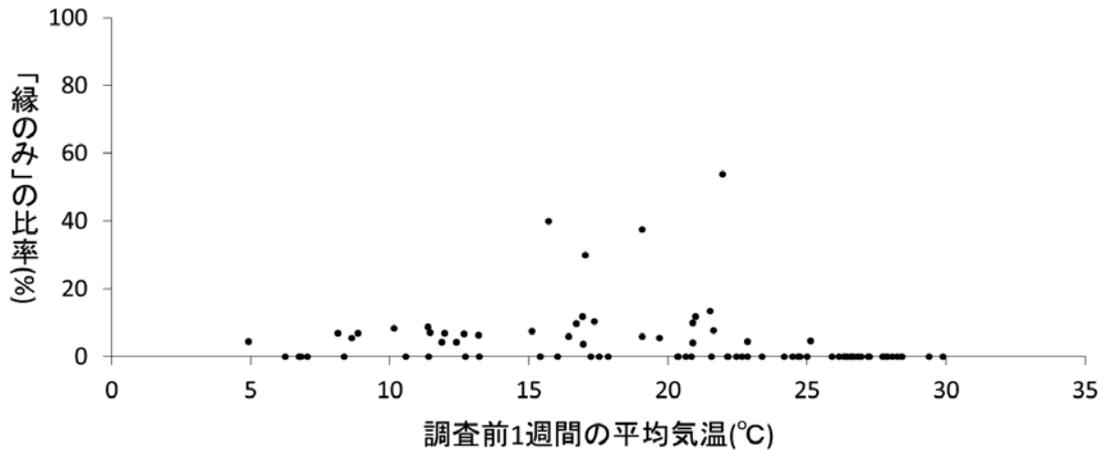


図26 調査前1週間の平均気温と新葉での「緑のみ」の比率の関係

「緑なし」の比率(図12)に関しては、両年の同じ時期の調査でも比率に明確な違いが見られたケースがあった。こういった差異の原因としては、やはり一つは降雨の影響が考えられる。すなわち前述のように2016年と2017年では降水量が異なっており、これが両年の違いに関与している可能性は十分考えられる。実際、「緑なし」の比率と降水量の間には有意な正の相関があり(図13)、「緑なし」の出現には降雨が関与していると考えられた。このように、落葉を引き起こし、特に被害が目立つ「緑なし」が降雨の多い時期に形成されるため、そういった時期には本病の激害が如実に現れることになると考えられる。こういった「緑なし」の動向は、降雨の激しい時期に本病の被害の拡大が起こるという福田ら(1978)、村本ら(1986)、陶山(2007)の推察の裏付けとなりうる。一方、「緑なし」の比率と平均気温の間にも有意な正の相関が見られた(図14)が、散布図は山型になっており、「緑なし」が見られたのは10~29°C、特に高い値が見られたのは15°C~25°Cであった。本病の接種試験では、本病の発病は1~3°Cから35°Cまでの5°C刻みの範囲で10~25°Cでのみ確認されており(野中・植原 1974d)、今回はそれと概ね一致した。すなわち、気温の観点からは冬や真夏は「緑なし」の出現は起こりにくく、春から初夏、秋が「緑なし」が出現しやすい時期であると考えられた。このように、「緑なし」の形成には降水量だけでなく気温も関与していると考えられ、降水量だけでなく気温の年度間の差も「緑なし」の発生の年度間の違いに関与している可能性は高い。なお、今回「緑なし」は旧葉では余り見られなかったが、奥田(2016)の野外接種試験では旧葉でも新葉と同様に今回言う「緑なし」病斑が出現しており、今回旧葉で「緑なし」の比率が低かった理由ははっきりしない(今回のデータでは示していないが、比率だけでなく発病率自体も新葉の方が高いケースが

目立った)。野外での人工接種と自然感染では何か違いがあるのかもしれない。

「褐色・緑あり」は新葉、旧葉とも概ね年中見られ、新葉で比率が高くなる傾向が見られた(図15)。一方、「白色・緑あり」は新葉が若い時期を除けば常に見られ、特に旧葉ではコンスタントに高い値を示した(図18)。気象条件との関係を見ると、「褐色・緑あり」と「白色・緑あり」の出現には降雨はあまり関与していないと考えられたが(図16, 19)、気温は関係しており、「褐色・緑あり」は気温の高い時期、「白色・緑あり」は気温の低い時期に多く出現したと考えられる(図17, 20)。「褐色・緑あり」と「白色・緑あり」は病斑内部の色以外の形状が類似しており、調査中に緑の中が褐色から白色に変色しかけている病斑も確認された(図5)。このような病斑は冬に多く観察された。このことから「白色・緑あり」は「褐色・緑あり」が白変し、活性を失ったものを含むと考えられる。以上の事から、気温が高くなる初夏から「褐色・緑あり」が多く形成され、少なくともそれらの一部が時間経過で白変して「白色・緑あり」になり、気温の低い冬には相対的に「白色・緑あり」の比率が高くなったのではないかと考えられた。実際、夏から翌春にかけて新葉で「褐色・緑あり」の比率が低下していく時期に「白色・緑あり」の比率は比較的コンスタントな上昇傾向が見られる。「白色・緑あり」が旧葉で通年出現したのも、新葉時に形成された「褐色・緑あり」の罹病葉が落葉せずに越冬し、白変したものが観察されたためではないかと考えられる。ただし、病斑の状態が比較的新鮮に見え、時間をかけて褐色から変化したとは思えないような「白色・緑あり」もしばしば見られたため、全ての「白色・緑あり」が「褐色・緑あり」から変化したとは限らないかもしれない。

「不規則」は新葉ではほぼ通年出現していたのに対し、

旧葉ではほぼ出現しなかった(図21)。この事から「不規則」は新葉に形成されやすい病斑と考えられる。実際、展葉したばかりの新葉に形成される病斑の多くは「不規則」であり、これは春季の展葉でも秋季の展葉でも同様であった。ただし、一旦形成された「不規則」は葉上で比較的長く見られ、古くなった「不規則」には白く変色しかけたものもあった。一方、「不規則」の出現に降水量と気温はあまり関与していないと考えられ(図22, 23)、単純に葉が若いことがこのタイプの病斑の出現条件と考えられた。

「縁のみ」の出現に降雨はあまり関与していないと考えられたが(図25)、気温とは関係しており、15~22°Cが「縁のみ」の出現に適した温度と考えられた(図26)。新葉で特に「縁のみ」の比率が増加した2016年5月と2017年6月は「褐色・縁あり」の比率が40%以上と高い値を示し、さらに後者の次の調査では「褐色・縁あり」の比率は50%を超えていた(図15, 24)。このように、「縁のみ」の出現と同時期に、またはやや遅れて「褐色・縁あり」が多く出現した。「縁のみ」は非常に小さい病斑であることから、形成されたばかりの病斑であると考えられ、ある程度拡大すると縁の形状の類似した「褐色・縁あり」や「不規則」になる可能性が考えられる。春から初夏にかけて「縁のみ」が形成され、気温が高くなる夏頃には「褐色・縁あり」に拡大するため、「縁のみ」の比率が低下したと考えられる。ただし、新葉の冬から春期や旧葉でも必ずしも少なくない「縁のみ」の出現が確認されたため、拡大せずに葉上に残存したものが存在した可能性が考えられる。この場合、葉が成熟して抵抗性が上昇したため、病斑がほとんど拡大出来ずに小さいままで固定されてしまったといったことが考えられる。

3-3. 病斑のタイプとそれぞれの性質

本病の病斑について、野中・植原(1974a, b, 1977)、周藤(1977)、陶山(2007)は急速に拡大する病斑、野中・植原(1977)、陶山(2007)は拡大しない病斑を報告している。また、野中・植原(1977)は新葉時の小病斑や灰白色化した古い病斑も確認している。本研究では「褐色・縁なし」、「全体」、「褐色・縁あり」、「白色・縁あり」、「不規則」、「縁のみ」の6タイプの病斑が確認されたが、「褐色・縁なし」と「全体」を同タイプとみなし、全5タイプに分類した。これらの病斑のうち、「縁なし」は急速に拡大する性質を持っていたが、「褐色・縁あり」など他の4タイプの病斑は、急速な拡大を示さなかった。これら4タイプはいずれも病斑に縁取りが見られたため、基本的には同じタイプの病斑と考えられるが(以下、「縁あり」)、今回は直接的な確証がなく、かつ比較的安定しているため4つの異

なるタイプとして扱った。野中・植原(1977)における新葉時の小病斑は「縁のみ」、灰白色化した古い病斑は「白色・縁あり」にあたると思われ、病斑上に菌体が形成されないという特徴も一致する。「不規則」はこれまでの報告で類似した病斑を確認することができず、今回初めて確認されたタイプの病斑であると思われる。「不規則」は形態的に他のタイプとかなり異なっているため、今までは他の病気の病斑と誤認されていたものと思われる。「縁あり」ではあまり脱落性が見られなかったが、「縁なし」は高い脱落性が確認されており、本病の顕著な病徴としてこれまで報告されてきた激しい落葉は「縁なし」によると考えられる。

今回の結果から、「縁なし」は梅雨や秋雨といった降雨の多い時期に出現しやすいと考えられる。前述のように「縁なし」は10°Cから25°Cの範囲で出現する比率が高くなることが知られているが(野中・植原 1974c, d)、調査期間中の梅雨入りから梅雨明けまでの平均気温は2016年が25.6°C、2017年が25.1°C、両年の秋期の100mm以上の降雨の前1週間の平均気温は2016年が23.0°C、2017年が24.7°Cであり(気象庁 2016, 2017)、概ねこの範囲に入る。すなわち、梅雨及び秋雨の時期は、気温の点からも本病の「縁なし」タイプの病斑が発生しやすい時期と言える。「縁なし」は落葉を引き起こし、重篤な場合は枝が透けて見えるほどの激害の発生に繋がる。このタイプの病斑が落葉した際に、地面まで落ちず枝葉に引っかかると、樹上で菌体を形成するため、同一個体内での更なる被害の拡大が起こると考えられる。実際、野外観察の際には、枝葉に引っかかり、樹上に留まっていた「縁なし」及びそれが枯死したものが多数確認され、それらはしばしば多数の菌体を形成していた。また、強風が吹くことによって「縁なし」が飛ばされると、被害木の近くの別個体にまで届き、新たに感染木が増える可能性も考えられる。このように、「縁なし」タイプの病斑は落葉を通じて本病の激害化や感染拡大の原因となると考えられる。

「褐色・縁あり」は気温の高い時期に出現したが、出現に降雨はあまり関与していないと考えられた。したがって、「褐色・縁あり」は夏とその前後の時期に、降雨に左右されずコンスタントに出現すると考えられる。「褐色・縁あり」の少なくとも一部は時間経過で活性を失い、変色して「白色・縁あり」になると考えられ、そのため秋から冬にかけて「白色・縁あり」が増加すると考えられる。春先に突発的に出現する「縁のみ」は形成されたばかりの病斑と思われ、拡大して「褐色・縁あり」になると考えられる。一方、新葉、特に展葉したばかりの葉に形成された病斑は、降雨や気温とは関係なく一部は「不規則」になると

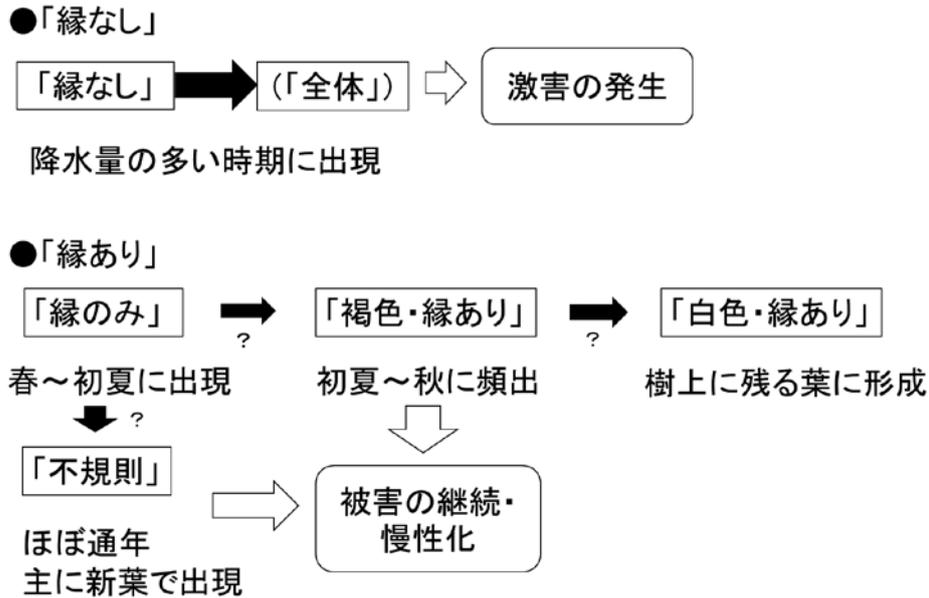


図27 各タイプの病斑の関係性及び出現状況と役割

考えられる。「不規則」の発生原因は明らかではないが、展葉したばかりの若い葉の生理的、物理的特性と関係している可能性が考えられる。「褐色・縁あり」と「不規則」は落葉しにくく、「縁なし」よりもはるかに長く樹上に留まるため、樹上で長期間菌体を形成することができると考えられる。これは「縁なし」ほど急速で激しい被害には繋がらないが、継続的な感染源の確保には繋がると考えられ、本病の被害の継続、慢性化の原因になり得る。

このように、「縁なし」は被害の激化、「褐色・縁あり」や「不規則」は被害の慢性化に繋がっていると考えられ、本病においては異なるタイプの病斑が、被害の拡大において異なる役割を果たしているという可能性が示唆される。このように異なるタイプの病斑が被害の拡大サイクル上異なる役割を果たしているとする、これは菌類生態学的な観点からも興味深い事例と言えよう。

各タイプの関係性及び発生状況と役割を簡単にまとめると(図27)、まず「縁なし」は降水量の多い時期に出現し、縁を形成しないまま急速に病斑を拡大し、激しい落葉を伴う激害を引き起こす。一方、「縁あり」は、主に春～初夏に出現する「縁のみ」、初夏～秋に頻出する「褐色・縁あり」、ほぼ通年新葉上で見られる「不規則」、ある程度の時間樹上に残っている葉に形成されている「白色・縁あり」に分けられ、「褐色・縁あり」と「不規則」は樹上で比較的長期間菌体を形成し続け、被害の継続、慢性化に繋がる。一方、「縁のみ」は形成されて間もないか抵抗性により拡大を阻止されている小病斑、「白色・縁あり」は活性を失っ

て菌体を形成しなくなった古い病斑と考えられ、活性のある2タイプの形成前後の状態である可能性が示唆される。

いずれにせよ、活性を失った「白色・縁あり」以外の病斑は、樹上に存在するだけでも被害拡大及び慢性化に繋がる可能性がある。したがって、本病の被害拡大を防ぐには、枝葉に引っかかった落葉含め、本病の罹病葉を出来る限り取り除く必要があるだろう。普通の剪定では、枝葉に引っかかった「縁なし」や脱落性のない「縁あり」タイプの病斑が残ってしまうため、意識して罹病葉や引っかかった「縁なし」を残らず取り除く必要があると思われる。

4. 引用文献

- 福田徳治・高屋茂雄・野中寿之(1978)短報：静岡県下ではじめて発生が確認されたチャ輪紋葉枯病. 茶業研究報告 48: 77~78
- 堀江博道(1978)ミズキ類の輪紋葉枯病(新称). 日本植物病理学会報 44(3): 376~377
- 鹿児島県(2017)平成28年度鹿児島県森林技術総合センター業務報告 65: p.6
- 気象庁(2016, 2017)気象観測データ <http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>
- Masuya H, Kusunoki M, Kosaka H, Aikawa T (2009) *Haradamyces foliicola* anam. gen. et sp. nov., a cause of zonate leaf blight disease in *Cornus florida* in Japan. *Mycological Research* 113: 173-181

- 村本正博・本地良彦・脇元幸夫 (1986) ハマヒサカキ輪紋葉枯病について. 森林防疫 35(11): 12~13
- 野中寿之・植原一雄 (1974a) 茶の輪紋葉枯病に関する研究 第1報 発生状況, 病徴および病原菌の分離について. 九州農業研究 36: 115~117
- 野中寿之・植原一雄 (1974b) チャ輪紋葉枯病 (新病害) に関する研究 1. 発生状況, 病徴および病原菌の分離について. 日本植物病理学会報 40(2): 130(20)
- 野中寿之・植原一雄 (1974c) チャ輪紋葉枯病 (新病害) に関する研究 2. 発病条件について. 日本植物病理学会報 40(2): 130(21)
- 野中寿之・植原一雄 (1974d) 茶の輪紋葉枯病に関する研究 第2報 発病条件について. 九州農業研究 36: 118~120
- 野中寿之・植原一雄 (1977) チャの新病害・輪紋葉枯病の発生と病原菌の形状・性質. 茶業研究報告 46: 38~47
- 野中寿之・植原一雄 (1978) チャの輪紋葉枯病病原菌の生態, 特に菌糸塊 (仮称) の形成と越冬. 茶業研究報告 47: 24~32
- 野中寿之・植原一雄・丸尾正司 (1974a) チャ輪紋葉枯病に関する研究 3. 病原菌の形態と若干の性質について. 日本植物病理学会報 40(2): 130~131(22)
- 野中寿之・植原一雄・丸尾正司 (1974b) 茶の輪紋葉枯病に関する研究 第3報 病原菌の形態と若干の性質について. 九州農業研究 36: 121
- 奥田絢子 (2016) サザンカにおける輪紋葉枯病の発病状況の季節変動と接種方法の検討. 平成27年度鹿児島大学農学部卒業論文: 19pp
- 周藤靖雄 (1977) ツバキ輪紋葉枯病 (新称). 森林防疫 26(4): 4~6
- 周藤靖雄 (1978) サザンカ輪紋葉枯病 (新称). 森林防疫 27(10): 6~8
- 陶山大志 (2007) 島根県のカキ栽培園で発生した輪紋葉枯病の被害. 森林防疫 56(2): 3~8

要旨

サザンカにおける輪紋葉枯病の被害発生パターンを明らかにするため, 野外観察を行い, 形態的な基準に基づいて本病の病斑のタイプ分けを行なうと共に, 各タイプの病斑の野外における季節変動を調査した。その結果, 本病の病斑は「緑なし」, 「褐色・緑あり」, 「白色・緑あり」, 「不規則」, 「緑のみ」の5タイプに分類できた。「緑なし」が形成された罹病葉は脱落性が高かったが, 他の4タイプでは低かった。本病の感染源である菌体は「緑なし」「褐色・緑あり」「不規則」に形成された。菌体は通年確認されたが,

降水量が多い時期と気温が15~28°Cの時期に特によく出現した。「緑なし」は降水量の多い時期と平均気温が15~25°Cの時期によく出現した。「褐色・緑あり」は気温が高い時期, 「白色・緑あり」は気温が低い時期に多く出現し, 前者の一部は後者に変化すると考えられた。「不規則」は大半が新葉で形成された。「緑のみ」は微小な病斑で, 春先に一時的に出現したことから, 形成されたばかりの病斑と考えられた。これらの性質から, 「緑なし」は落葉を伴う激害を引き起こし, 「褐色・緑あり」「不規則」は被害の慢性化に繋がると考えられた。このように, 本病は異なるタイプの病斑が被害の拡大サイクルにおいて異なる役割を果たしていると考えられた。