

マツ類葉さび病菌 (*Coleosporium phellodendri*) の中間宿主キハダから 飛散する担子胞子の有効感染距離について

三浦 靖^{a)}・山岡 裕一^{b)}・岡根 泉^{b)}・鈴木 浩之^{b)}
楠 幹生^{a)}・鐘江 保忠^{a)}・藤田 究^{a)}

キーワード：マツ類，葉さび病，担子胞子，感染距離

Effective Range of Basidiospore Infection from Intermediate Host *Phellodendron amurense* of *Coleosporium phellodendri* (needle rust)

Yasushi MIURA^{a)}, Yuichi YAMAOKA^{b)}, Izumi OKANE^{b)}, Hiroyuki SUZUKI^{b)},
Mikio KUSUNOKI^{a)}, Yasutada KANEGAE^{a)}, Kiwamu FUJITA^{a)}

Key words: pine, needle rust, basidiospore, effective range

Abstract

We investigated the occurrence of pine needle rust in both naturally growing pine trees and pine seedlings planted in the vicinity of Amur cork trees (*Phellodendron amurense*), which is an intermediate host of pine needle rust (*Coleosporium phellodendri* Komarov), in Kagawa and Ibaraki Prefectures. Using a primer set capable of specifically detecting the pycnia and aeciosorus of *C. phellodendri* on the needles of pine trees, we determined the effective range of infection by *C. phellodendri* basidiospores to be approximately 300 m.

摘 要

香川県と茨城県において、マツ類葉さび病菌 (*Coleosporium phellodendri* Komarov) の中間宿主であるキハダ周辺に自生しているマツ類における葉さび病の発生調査および、キハダ周辺に設置したマツ類の苗における葉さび病発生調査を行った。マツ類の針葉上に見られた精子器およびさび胞子堆について *C. phellodendri* を特異的に検出できるプライマーセットによって判別を行った結果、*C. phellodendri* の担子胞子の有効感染距離は300m程度と判断した。

緒 言

近年海外において盆栽の人気の高まり、香川県では出荷数全体に占める輸出比率は年々増加し、2018年には20%を超える量となっている。1979年からEU（欧州連合）に輸出検疫措置を行ってゴヨウマツや真柏の盆栽を輸出しており、さらに、クロマツについても海外のバイヤーから輸出を要望されている。しかし、EUはクロマツを宿主とするマツ類 (*Pinus* 属) 葉さび病菌 (*Coleosporium phellodendri* Komarov) の侵入を警戒しているため、EUにクロマツ盆栽を輸出しようとする場合、盆栽が本菌に感染していないことが条件となる。

マツ類葉さび病は、担子菌類に属するサビキン類の

a) 病害虫防除所, b) 筑波大学生命環境系

Coleosporium 属菌によって引き起こされる。日本産 *Coleosporium* 属菌28種のうち、12種はアカマツ、クロマツなど二葉マツ類に葉さび病を引き起こす (Kaneko⁵⁾)。マツ類葉さび病菌は、季節によってマツ類以外の植物 (中間宿主) に宿主を変え、中間宿主に形成された担子胞子が再度マツ類に感染することで生活環を維持する異種寄生性を有する。侵入を警戒されている *C. phellodendri* の中間宿主はキハダ (*Phellodendron amurense*) であることから、キハダからマツ類への感染経路を断つことで、*C. phellodendri* によるマツ類葉さび病の発生を防止させることができる。すなわち、キハダに形成された担子胞子の感染可能な飛散距離を把握することにより、マツ類の植生地からその範囲内にキハダがないことを確認することや、キハダを除去することが有効な防除手段であると考えられる。

Coleosporium phellodendri の担子胞子の飛散距離については、すでに佐保¹⁰⁾ は120m、浜³⁾ は200m以上との報告があるが、調査例数は少ない。また、担子胞子の飛散距離は、風の強さや地形、樹林の植生状況等により異なると思われることから、複数年、複数箇所および複数の方法でキハダからマツ類への担子胞子の飛散距離を調査し、総合的に判断を行ったので報告する。

材料および方法

1. *Coleosporium phellodendri* 特異的プライマーの作成

Coleosporium phellodendri 特異的プライマーを作成するため、GenBank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>) に登録されている *Coleosporium* 属菌のうち、日本において二葉マツ類にさび胞子堆を形成することが知られている9種の塩基配列データを取得した (Kaneko⁵⁾)。これらの塩基配列データからrDNA ITS2領域のデータセットを作成し、MAFFT version 7 (Katoh et al.⁶⁾) を用いてアライメントを行い、*C. phellodendri* に特異的な配列を目視で探索してリバースプライマー (Coleo_Phello_R: 5'-CCATATCACAACCCTTTATACAATC-3') を設計した。アライメントデータはTreeBaseに登録した (<http://purl.org/phylo/treebase/phyloids/study/TB2:S27392>)。

作成したリバースプライマーの特異性を確認するため、筑波大学植物寄生菌学研究室標本庫 (TSH) に保管されている12種22菌株の *Coleosporium* 属菌について供試した (表-1)。フォワードプライマーには、Aime¹⁾ において作成されたRust2invを改変したColeo_Phello_F (5'-TCGATGAAGAACACAGTGAAATG-3') を用いた。

PCR反応液はEmeraldAmp® PCR Master Mix (タカラバイオ株式会社) 12.5μL、2μMの各プライマー2.5μL、DNA抽出物1μL、滅菌水6.5μLを混合し、全量25μLに調整した。PCR反応はTaKaRa PCR Thermal Cycler Dice® Touch (タカラバイオ株式会社) を用い、95℃ 3分→95℃ 30秒、55℃ 1分、72℃ 1分を30サイクル→72℃ 10分という条件で行った。PCR産物はエチジウムブロマイドを含んだ1%アガロースゲルで泳動し、UVトランスイルミネーターを用いて目的断片の増幅を確認した。

2. キハダ周辺に植生しているマツ類におけるマツ類葉さび病の発生調査

1) 茨城県における調査

2019年5月3日と9日に茨城県つくば市 (筑波大学山岳科学センター演習林植物見本園) 内とその周辺に植栽されている11個体のアカマツ針葉上で *Coleosporium* 属菌のさび胞子堆を採取した。

CTAB (臭化セチルトリメチルアンモニウム) 法によってDNAを抽出した (Gardes and Bruns²⁾)。GoTaq® Green master Mix (プロメガ) 12.5μL、各プライマー2.5μL、滅菌蒸留水6.5μL、および鋳型DNA1μLを混合し合計25μLになるよう調整したのち、TaKaRa PCR Thermal Cycler Dice® Touchを用いて1. の試験方法によりPCRを行った。増幅したDNA長は100bpのラダーマーカーを用いて推定した。

2) 香川県における調査

2018年と2019年に高松市東植田町 (公測森林公園) (図-1, 2) と仲多度郡まんのう町 (香川県森林センター) (図-3, 4) の2箇所で行った。それぞれの箇所には樹高5~15mのキハダが数本まとまって植栽されており、それらのキハダ群を起点とした。なお、香川県森林センターでは、起点とするキハダ群から約360m離れた箇所に、樹高0.5~1mのキハダが数本植栽されており、そこから担子胞子の飛散があると担子胞子の飛散元が不明確になるため、各年キハダさび病が発生する時期に当たる7月~9月に2~3回ベンコゼブ80%水和剤600倍希釈液を散布した。

公測森林公園では2018年4月18日と2019年4月17日に、また、香川県森林センターでは2018年4月18日と2019年4月18日に、それぞれの箇所の起点とするキハダ群から半径約300m範囲内のマツ類 (アカマツ、クロマツ) におけるマツ類葉さび病の発生状況を調査し、発生を確認したマツ類のキハダからの距離を計測した。この調査におけるマツ類葉さび病は、針葉上に形成された精

表-1 種特異的プライマー作成のために用いた標本

菌 種	標 本 ^{a)}	冬孢子世代宿主	GenBank accession numbers
			ITS2領域
<i>Coleosporium asterum</i>	TSH-R6575	ゴマナ	LC333797
	TSH-R11695	ノコンギク	
<i>C. pini-asteris</i>	TSH-R9584	シラヤマギク	MN108161
<i>C. bletiae</i>	BSC1	シラン	
<i>C. clematidis</i>	TSH-R10862	シラン	KX386010
	N79	クレマチス属	
<i>C. clematidis-apiiifoliae</i>	TSH-R11102	センニンソウ	LC333796
	TSH-R6521	ボタンヅル	
<i>C. horianum</i>	TSH-R18330	ツルニンジン	LC333800
<i>C. lycopodis</i>	TSH-R6560	ツリガネニンジン	
<i>C. pedunculatum</i>	TSH-R6581	ツリガネニンジン	LC333801
	TSH-R9048	Saussurea grandifolia	
<i>C. phellodendri</i>	TSH-R6525	キハダ	KX386011
	TSH-R6658	キハダ	
<i>C. plectranthi</i>	TSH-R6766	キハダ	MF769653
	N85	—	
<i>C. tussilaginis</i>	TSH-R10935	シソ	KX386019
	U74	Senecio triangularis	
<i>C. zanthoxyli</i>	TSH-R9046	Campanula gromerata	KX386019
	N105	サンショウ	
	TSH-R6808	カラスザンショウ	

a) TSH：筑波大学植物寄生菌学研究室標本庫

子器またはさび孢子堆の目視によって確認した。

マツ類での発病葉が、*C. phellodendri*であるかどうかを確認するため、精子器又はさび孢子堆を採取し、茨城県での試験と同様にPCR検定を行った。

3. マツ類の苗を用いたマツ類葉さび病菌担子孢子トラップ試験

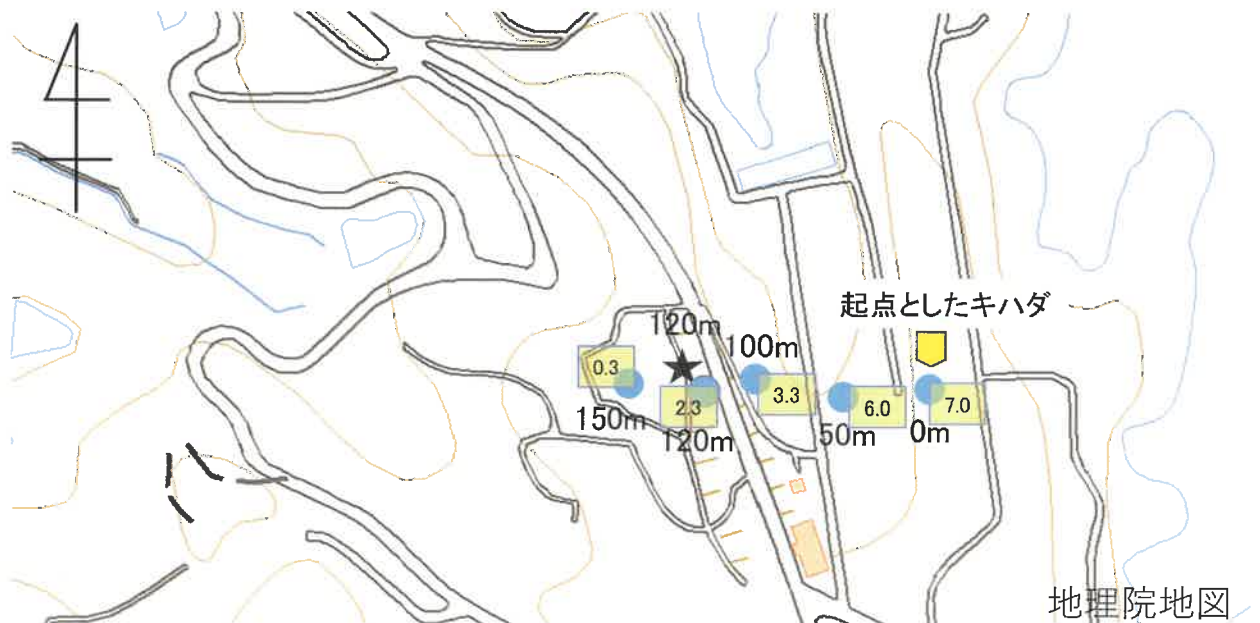
1) 茨城県における試験

2017年9月9日～11月1日の間、筑波大学山岳科学センター演習林植物見本園に植栽されているキハダ4本を中心として、1, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200および300m地点（1および300m地点を除き4または5反復）に2年生アカマツ苗（3本苗/地点）をキハダ葉上から飛散するマツ類葉さび病菌担子孢子のトラップとして設置した（図-5, 図-6）。11月1日にキハダから400m以上離れた場所で苗を越冬管理し、2018年4月29日にアカマツ苗の針葉上での精子器およびさび孢子堆の形成を調査した。苗ごとに精子器を形成した針葉数を記録し、観測地点ごとに苗当たりの感染針葉数の平均値を求めて

散布図を作成した。

2) 香川県における試験

2017年8月29日～11月7日の間、香川県森林センターに植栽されているキハダ群から50m間隔で600m地点まで、2年生アカマツ苗（8本/地点）を設置し（図-7）、その後周囲にキハダが存在しない香川県綾歌郡綾川町（香川県農業試験場）に苗を移動して管理した。調査は2018年4月27日に、アカマツ針葉上での葉さび病の精子器およびさび孢子堆の形成の有無を調査した。同様に、2018年8月21日～12月10日の間、公測森林公園に植栽されているキハダ群から50m間隔で150mまでの4地点および120m地点に、2年生のアカマツ苗（9本/地点）と2年生クロマツ苗（9本/地点）を設置し（図-1）、その後香川県綾歌郡綾川町（香川県農業試験場）に苗を移動して管理した。調査は2019年5月16日に、アカマツおよびクロマツ苗の針葉上での葉さび病の精子器およびさび孢子堆の形成の有無を調査した。さらに、2019年には9月3日～12月10日の間、公測森林公園でキハダ群から50m間隔で350mまでの8地点および120m地点に、2



図ー1 キハダ周辺に植生しているマツ類およびキハダ周辺に距離別に設置したマツ苗（図中青丸）におけるマツ類葉さび病発生調査結果（公洲森林公園，2018年）

注）★は植生しているマツで発病を確認したもの，数値は苗当たりの平均発病針葉数（いずれも種特異的プライマーにより *C. phellodendri* であることを確認した）



図ー2 キハダ周辺に植生しているマツ類およびキハダ周辺に距離別に設置したマツ苗（図中青丸）におけるマツ類葉さび病発生調査結果（公洲森林公園，2019年）

注）★は植生しているマツで発病を確認したもの，数値は苗当たり発病針葉数（いずれも種特異的プライマーにより *C. phellodendri* であることを確認した）



図ー3 起点としたキハダ周辺に植生しているマツ類におけるマツ類葉さび病発生調査結果（香川県森林センター，2018年）

注）★は植生しているマツで発病を確認したもの（いずれも種特異的プライマーにより *C. phellodendri* であることを確認した）

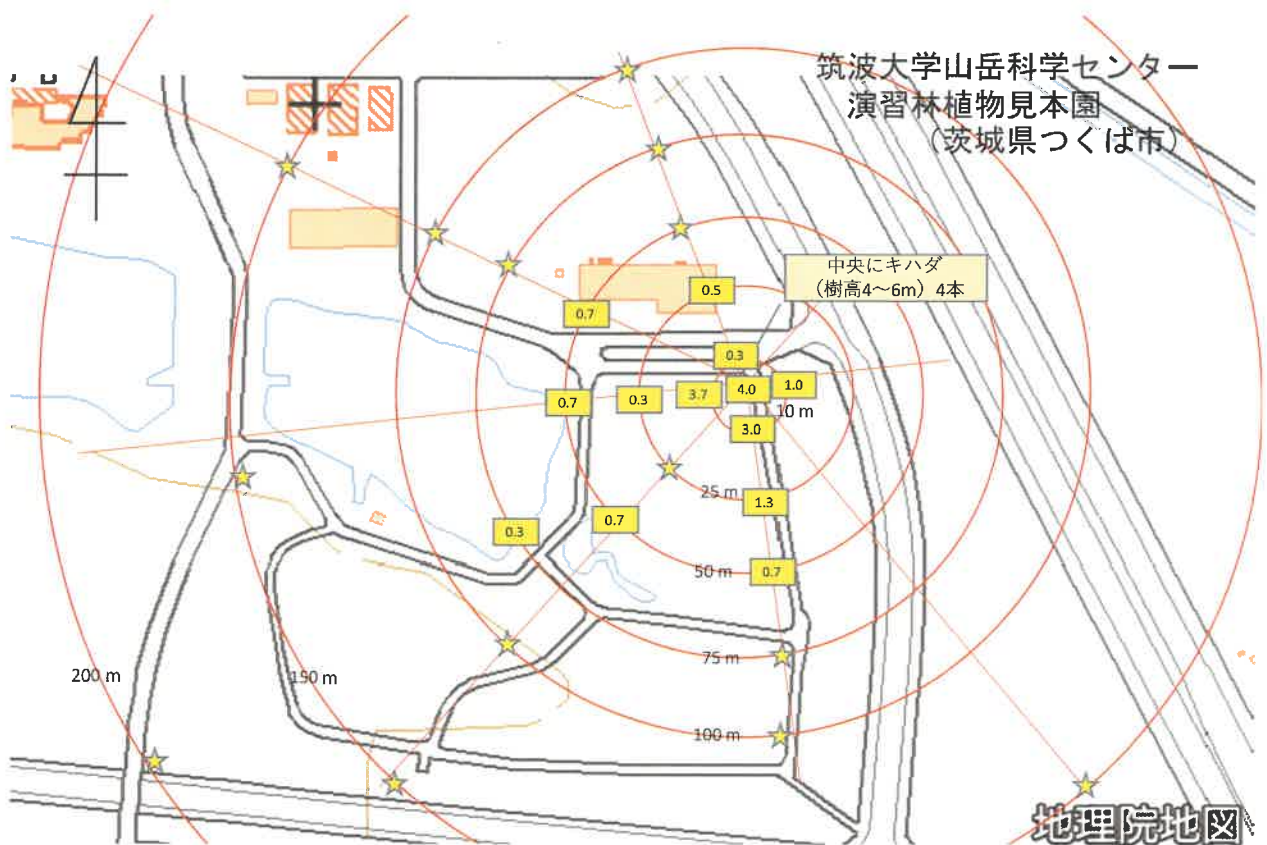


図ー4 起点としたキハダ周辺に植生しているマツ類におけるマツ類葉さび病発生調査結果（香川県森林センター，2019年）

注）★は植生しているマツで発病を確認したもの（いずれも種特異的プライマーにより *C. phellodendri* であることを確認した）



図ー5 アカマツ苗を用いたマツ類葉さび病菌の発生調査試験地の様子



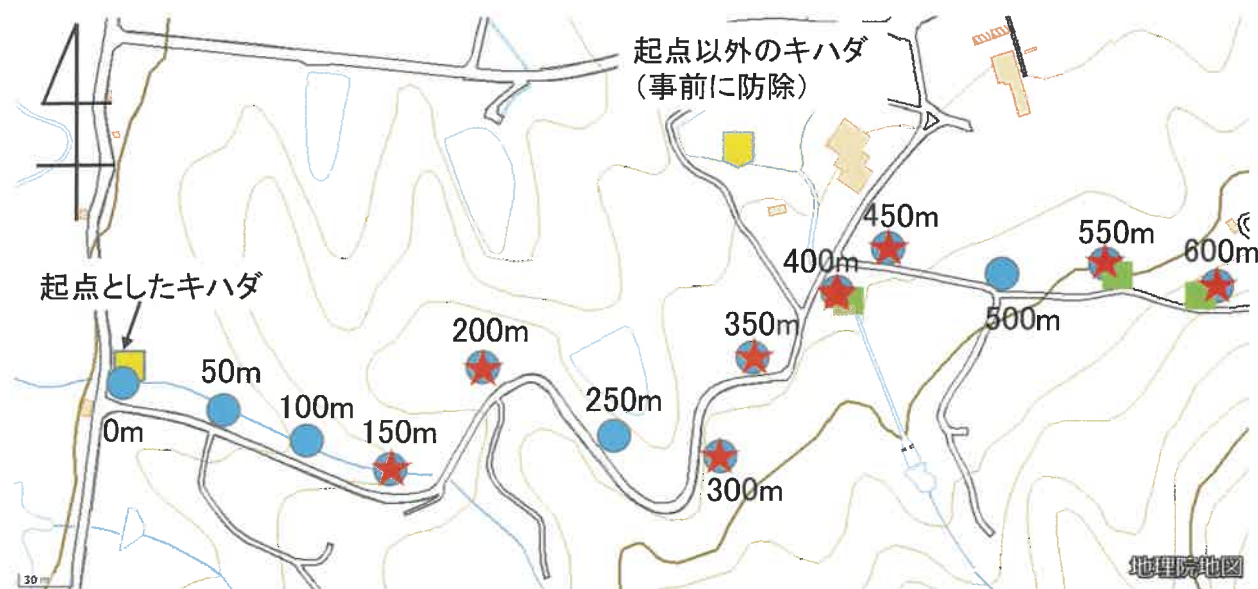
図ー6 アカマツ苗を用いたマツ類葉さび病菌発生調査における設置箇所および調査結果
(2017年9月に設置, 2018年4月に判定。★は苗設置位置, 数値は苗当たりの平均感染針葉数)

年生アカマツ苗（16本／地点）を設置し（図－2），その後香川県農業試験場に苗を移動し管理した。調査は2020年6月12日にアカマツ苗の針葉上での葉さび病の精子器およびさび胞子堆の形成の有無を調査した。

なお，2. の試験と同様，*C. phellodendri*であることを確認するためPCR検定を行った。

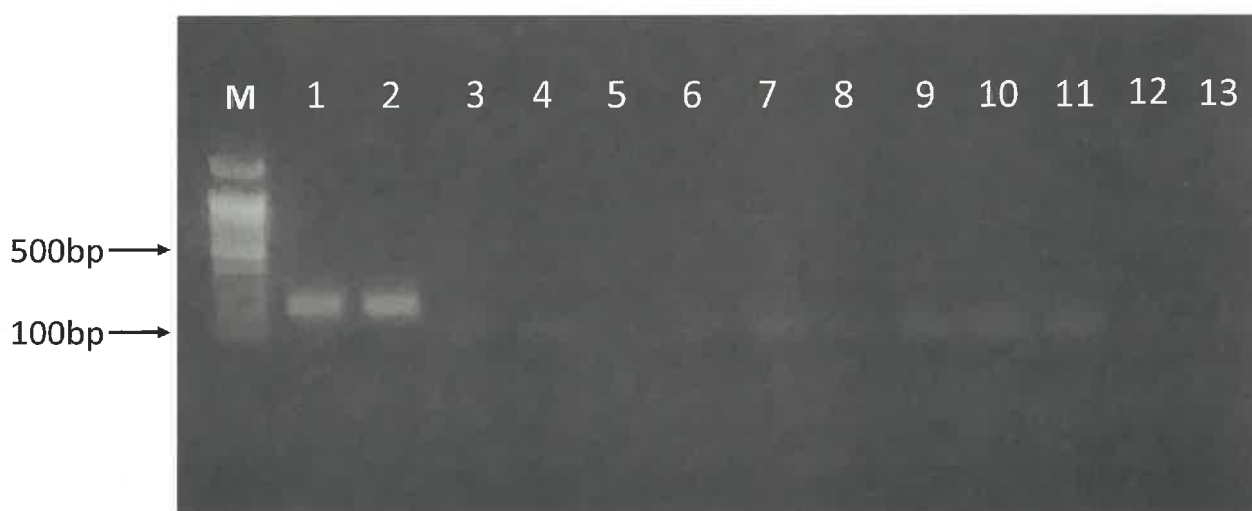
結 果

1. *Coleosporium phellodendri*特異的プライマーの作成
プライマーセット（Coleo_Phello_FおよびColeo_Phello_R）を用いたPCRによる特異性試験の結果，*C. phellodendri*ではDNA断片（195bp）の増幅が確認されたが，他種においては見られず，プライマーセットの特異性が確認できた（図－8）。



図－7 起点としたキハダ周辺に距離別に設置したマツ苗（図中青丸）におけるマツ類葉さび病発生調査結果（香川県森林センター，2017年）

注）★は発病が見られた苗で，いずれも*C. phellodendri*種特異的プライマーで検出されなかった。そのうちシーケンスを行った■については*C. clematidis-apiifoliae*であることを確認した。）



図－8 プライマーセットColeo_Phello_FおよびColeo_Phello_R のPCRによる特異性試験の結果

1: *C. phellodendri* (TSH-R6658), 2: *C. phellodendri* (TSH-R6766), 3: *C. asterum* (TSH-R11695), 4: *C. pini-asteris* (TSH-R9584), 5: *C. bletiae* (TSH-R10862), 6: *C. clematidis* (TSH-R11102), 7: *C. clematidis-apiifoliae* (TSH-R11106), 8: *C. horianum* (TSH-R18330), 9: *C. lycopodis* (TSH-R6581), 10: *C. pedunculatum* (TSH-R9048), 11: *C. plectranthi* (TSH-R10935), 12: *C. tussilaginis* (TSH-R9046), 13: *C. zanthoxyli* (TSH-R6808), M: マーカ

2. キハダ周辺に植生しているマツ類におけるマツ類葉さび病の発生調査

1) 茨城県における調査

植物見本園とその周辺に植栽されていたアカマツのうち、キハダ群から14, 21, 28, 75, 110, 200および300m離れた個体の針葉に*Coleosporium* 属菌のさび孢子堆の発生が見られた。これら孢子堆について*C. phellodendri* 特異的プライマーを利用してPCRを試みたところ、キハダ群から14~75および200m地点で採取したさび孢子堆は*C. phellodendri*であることが確認できた(表-2)。

2) 香川県における調査

2018年の調査では、公測森林公園でキハダ群から120mの地点のアカマツ(図-1, 表-3), 香川県森林センターでキハダ群から16および75m地点のアカマツ, 21および75mの地点のクロマツの針葉に*Coleosporium*属菌のさび孢子堆の発生が見られた(図-3, 表-3)。これら孢子堆について*C. phellodendri* 特異的プライマーを利用してPCRを試みたところ、採取したさび孢子堆は全て*C. phellodendri*であることが確認できた。

2019年の調査では、公測森林公園でキハダ群から120および240m地点のアカマツ(図-2, 表-3), 香川県森林センターでキハダ群から36および74m地点のアカマツ, 26, 75, および150m地点のクロマツ針葉に*Coleosporium*属菌のさび孢子堆の発生が見られた(図-4, 表-3)。*Coleosporium phellodendri* 特異的プライマーを利用して同定を試みたところ、公測森林公園ではキハダ群から120および240m, 森林センターでは26, 36および75m地点で採取したさび孢子堆は*C. phellodendri*であることを確認できた。

3. マツ類の苗を用いたマツ類葉さび病菌担子孢子トラップ試験

1) 茨城県における試験

2017年に実施した2年生アカマツ苗を用いたマツ類葉さび病菌担子孢子的トラップ試験については、キハダ群から1, 10, 25, 50および75m地点に設置したアカマツ苗の針葉上で精子器の形成(各地点の苗当たりの平均感染針葉数: 0.3~4.0)が確認できた(図-6)。観測地点ごとの苗当たり感染針葉数の平均値から散布図を作成したところ、 $y = -1.6116x + 3.285$ ($R^2 = 0.5965$)の近似直線が得られ、担子孢子的の有効感染距離が100m程度であるとの結果となった(図-9)。

2) 香川県における試験

2017年に森林センターに設置した苗では、キハダ群から150, 200, 300, 400, 450, 550および600m地点のアカマツに確認されたさび孢子堆全てが*C. phellodendri*特異的プライマーで検出できなかった(図-7, 表-4)。そのうち一部を筑波大学でシーケンスした結果、ボタンヅルを中間宿主とする*C. clematidis-apiifoliae*であることが確認された。2018年に公測森林公園に設置した苗では、キハダ群から0, 50, 100, 120および150m地点のアカマツの苗から、*C. phellodendri*による精子器またはさび孢子堆の発生が見られた(図-1, 表-4)。同じく2019年に公測森林公園に設置した苗では、キハダ群から0, 50, 100, 120, 150, 200および300m地点のマツ類の苗から、*C. phellodendri*による精子器またはさび孢子堆の発生が見られた(図-2, 表-4)。これらのことから、担子孢子的の有効感染距離は最大で300mであった。

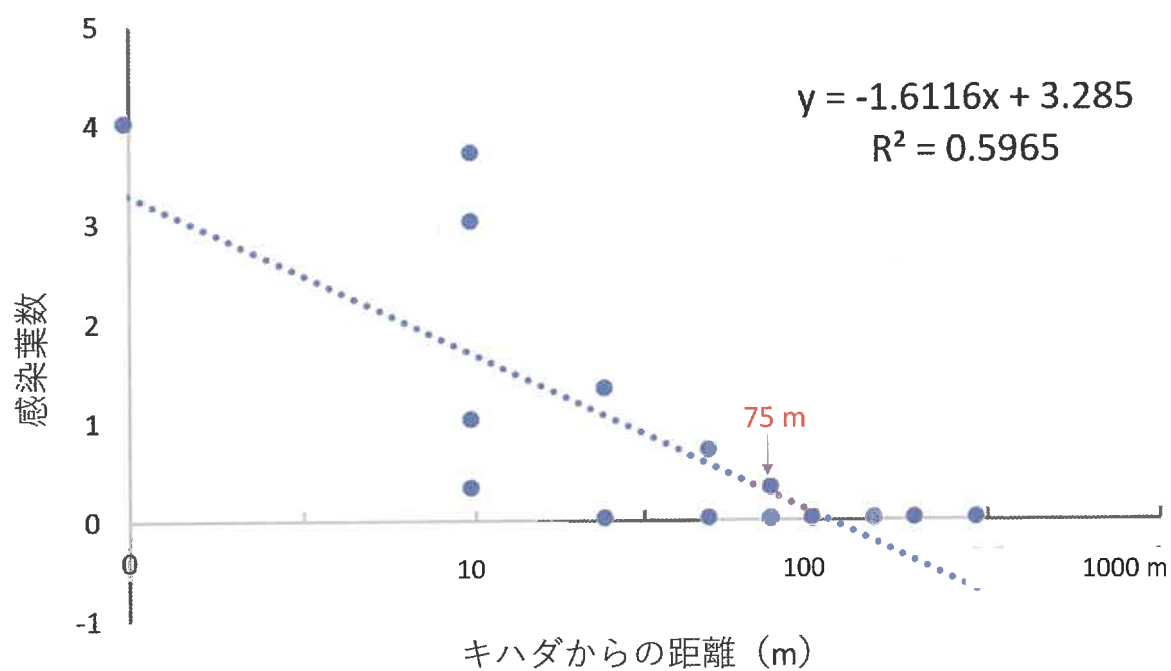
表-2 筑波大学植物見本園とその周辺のアカマツ針葉上で採取したさび孢子堆からの*C. phellodendri*の検出結果

アカマツ 個体No.	キハダからの 距離 (m)	さび孢子 堆形成	<i>C. phellodendri</i> 検出 (検出孢子堆数/調査孢子堆数)
7	14	++ ^{a)}	3/10
9	14	++	1/3
8	21	++	2/3
6	28	++	3/3
1	75	+	1/1
2	100	-	-
3	110	+	0/1
4	125	-	-
5	190	-	-
11	200	++	1/2
10	300	+	0/2

a) ++: 多数形成, +: 僅かに形成, -: 形成なし

表－3 公測森林公園および香川県森林センターのマツ類針葉上で採取したさび孢子堆からの
*C. phellodendri*の検出結果

調査年	調査地点	キハダからの 距離 (m)	樹 種	<i>C. phellodendri</i> 検出
2018年	公測森林公園	120	アカマツ	+
	香川県森林センター	16	アカマツ	+
		21	クロマツ	+
		75	アカマツ	+
		75	クロマツ	+
2019年	公測森林公園	120	アカマツ	+
		240	アカマツ	+
	香川県森林センター	26	クロマツ	+
		26	クロマツ	+
		26	クロマツ	+
		36	アカマツ	+
		74	アカマツ	－
		74	アカマツ	－
		75	クロマツ	+
		150	クロマツ	－
		150	クロマツ	－
		150	クロマツ	－



図－9 アカマツ苗を用いたマツ類葉さび病菌の発生調査における有効感染距離
(2017年9月に設置, 2018年4月に判定)

表-4 公測森林公園および香川県森林センターに設置したマツ類苗の針葉上で採取したさび孢子堆からの *C. phellodendri* および *C. clematidis-apiifoliae* の検出結果

苗設置年	設置地点	キハダからの 距離 (m)	樹 種	<i>C. phellodendri</i> 検出	<i>C. clematidis- apiifoliae</i> 検出
2017	香川県森林センター	150	アカマツ	—	未検定
		200	アカマツ	—	未検定
		300	アカマツ	—	未検定
		350	アカマツ	—	未検定
		400	アカマツ	—	+
		450	アカマツ	—	未検定
		500	アカマツ	—	未検定
		550	アカマツ	—	+
		600	アカマツ	—	+
2018	公測森林公園 ^{a)}	0	アカマツ	+	未検定
		50	アカマツ	+	未検定
		100	アカマツ	+	未検定
		120	アカマツ	+	未検定
		150	アカマツ	+	未検定
2019	公測森林公園	0	アカマツ	+	未検定
		50	アカマツ	+	未検定
		100	アカマツ	+	未検定
		120	アカマツ	+	未検定
		150	アカマツ	+	未検定
		200	アカマツ	+	未検定
		300	アカマツ	+	未検定
		300	アカマツ	+	未検定

a) クロマツ苗も設置したが、全ての苗でさび孢子堆は発生しなかった。

考 察

Coleosporium 属菌の精子およびさび孢子世代は、種間の形態的差異が乏しいため、葉さび病を引き起こしている種を形態的に同定することは難しい (Suzuki et al.¹²⁾)。PCRによる特異性試験の結果、本研究において設計されたプライマーによって二葉マツ類に感染する12種全ての *Coleosporium* 属菌の中から *C. phellodendri* を特異的に検出できることが証明された。この技術によって *C. phellodendri* に感染したマツを簡易に大量にスクリーニングすることが可能になると考えられる。

二葉マツ類の葉さび病を引き起こす日本に存在する *Coleosporium* 属菌は、種によってあるいは冬孢子が形成される中間宿主の種によって担子孢子の飛散距離は異なる。一般的には、担子孢子は30~50m飛散するとされているが (平塚⁴⁾)、ヨツバヒヨドリを中間宿主とする *C. eupatorii* (ストローブマツなどのゴヨウマツ類の葉さび

病菌) では10m程度 (佐保^{9) 11)})、一方キハダを中間宿主とする *C. phellodendri* では、120m (佐保¹⁰⁾) あるいは200m以上 (浜³⁾) 離れた場所のマツ上でもさび孢子堆形成が認められた例もある。2017年秋に筑波大学植物見本園で実施したアカマツ苗を用いた葉さび病菌担子孢子的のトラップ試験の結果、および2019年春に実施した *C. phellodendri* 特異的プライマーを用いた植物見本園とその周辺のアカマツからの本菌の検出結果から、少なくとも75mまでは本菌の担子孢子が確実に飛散し感染していると考えられる。2017年度の担子孢子トラップ試験の結果から、本菌担子孢子的の有効感染距離は約100mと評価したが、2019年春には、キハダから200m離れたアカマツ針葉上で本菌のさび孢子堆が検出された。2017年度の担子孢子トラップ試験では、そのアカマツの近くにアカマツ苗を設置していたが、精子器およびさび孢子堆は形成されなかった。苗トラップは約50日間各地点に設置したが、植栽されたアカマツと比較して感染の機会が少なかったこと、その期間の風の強さ、風向なども結果に影

響したと考えられる。香川県における試験でも、試験を実施した年、場所および方法によって精子器またはさび孢子堆が形成されたマツ類のキハダからの距離は異なったものの、最長で300mとなった。今回の試験結果から、本菌の担子孢子の有効感染距離が300m程度であることが確認できた。

楠ほか⁷⁾, Kusunoki et al.⁸⁾ は、2016年に香川県の主要な盆栽産地である高松市鬼無町および国分寺町でクロマツ盆栽園地とその周辺でクロマツの葉さび病の発生状況を調査するとともに、盆栽園地から300mの範囲でクロマツの葉さび病の中間宿主であるキハダの植生調査を行っている。その結果、すべての盆栽園地内のクロマツに葉さび病の発生は認めず、キハダはすべての盆栽園地から300m範囲内には植生していなかった。このことは、少なくとも300m範囲内にキハダが存在しなければ葉さび病の発生の可能性も限りなく低いということを裏付けるもので、今回の調査結果と整合性が取れる。

EUは*C. phellodendri*の侵入を警戒しているが、これまでの結果を総合的に考えると輸出用盆栽園地から約300mの範囲内にキハダがある場合は、キハダを除去することにより、EUへの侵入リスクをきわめて低く抑えることができると判断する。

謝 辞

本研究は、「農研機構生物系特定産業技術研究支援センター」が研究委託する「革新的技術開発・緊急展開事業（うち経営体強化プロジェクト）」で、「試験研究計画名：マツ盆栽等の輸出解禁・緩和に必要な病害虫防除方法の開発」を実施した。三浦 靖と山岡 裕一は共同第一著者であり、この論文に同じように貢献した。

本試験の調査に協力して頂いた香川県東讃農業改良普及センター、香川県農業経営課、農業生産流通課の担当者の皆様に感謝します。また、実験場所を提供して下さった香川県森林センター、公測森林公園および筑波大学山岳科学センター演習林植物見本園には、担子孢子有効感染飛散距離試験のための試験地の設定およびさび孢子堆の採取に協力いただき、心から感謝申し上げます。

引用文献

- 1) Aime, M. C. (2006): Toward resolving family-level relationships in rust fungi (Uredinales). *Mycoscience*, 47, 112-122. doi:10.1007/s10267-006-0281-0
- 2) Gardes, M. and Bruns, T.D. (1993): ITS primers

with enhanced specificity for basidiomycetes - application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Molecular Ecology* 2, 113-118.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.1993.tb00005.x>.

- 3) 浜 武人 (1972): 長野県木曾谷に発生したアカマツ葉さび病, 林業試験場研究報告247, : 1 - 13.
- 4) 平塚直秀 (1960): マツの葉さび病, 日本林学会誌 42, 151-156.
- 5) Kaneko, S. (1981). Species of *Coleosporium* in the Japanese Archipelago. Reports of the Tottori Mycological Institute, 19, 159.
- 6) Katoh, K., Rozewicki, J., & Yamada, K. D. (2019). MAFFT online service: multiple sequence alignment, interactive sequence choice and visualization. *Briefings in Bioinformatics*, 20, 1160-1166. doi:10.1093/bib/bbx108
- 7) 楠 幹生・鐘江保忠・藤田 究・井口里香・北濱郁雄・村口 浩・佐野有季子・藤村敬子・香西俊哉 (2017): 香川県の盆栽産地におけるクロマツ葉さび病およびこぶ病発病リスクに関する調査について, 樹木医学研究 21, 8-12.
- 8) Kusunoki, M., Fujimura, T., Inokuchi, R., Fujota, K., Kanegae, Y., Miura, Y., Kato, I., Kozai, T., and Kajino Y. (2019): Survey of pine needle rust and Asian pine gall rust occurrence in Bonsai production areas of Kagawa Prefecture. *Bulletin of the Kagawa Prefecture Agricultural Experiment Station* 70, 53-58.
- 9) 佐保春芳 (1963a): ストローブマツ葉さび病に関する研究 VII *Coleosporium eupatorii* A. の小生子感染の有効距離について, 日本林学会誌45, 20-24.
- 10) 佐保春芳 (1963b): *Coleosporium phellodendri* Kom. 小生子接種試験, 日本植物病理学会報28, 182-184.
- 11) 佐保春芳 (1968): 五葉松葉さび病に関する研究, 東京大学農学部演習林報告64, 59-148.
- 12) Suzuki, H., Hirose, D., & Yamaoka, Y. (2018). Species composition and distribution of *Coleosporium* species on the needles of *Pinus densiflora* at a semi-natural vegetation succession site in central Japan. *Mycoscience*, 59, 424-432. doi:10.1016/j.myc.2018.04.001