

森林研究研修センター研究報告 第29号

2001年5月

目 次

ナラ類集団枯損林分の特性と分離菌の病原性 ……………	三 浦 直 美 ……	1
— 分離菌の接種による枯損の再現 —	齊 藤 正 一 三 河 孝 一 小野瀬 浩 司 中 村 人 史 森 川 東 太	
ナラ類集団枯損被害立木へのくん蒸剤注入による ………	齊 藤 正 一 ……	11
カシノナガキクイムシとナラ菌の防除法の改良	中 村 人 史 三 浦 直 美	
背割りしたスギ丸太の乾燥特性と強度性能 ……………	後 藤 徹 ……	21
	高 橋 幹 夫	
ナラ菌の接種によるミズナラの枯損 ……………	三 河 孝 一 ……	27
	三 浦 直 美 齊 藤 正 一 小野瀬 浩 司 中 村 人 史	

論文

ナラ類集団枯損林分の特徴と分離菌の病原性 — 分離菌の接種による枯損の再現 —

三浦直美・齋藤正一・三河孝一
小野瀬浩司・中村人史・森川東太

Character of mass mortality in oak stands and pathogenicity
of the isolated fungus : Reappearances of the mortality
by inoculation of the isolated fungus.

Naomi MIURA, Shōichi SAITO, Kōichi MIKAWA
Kōji ONOSE, Hitoshi NAKAMURA, Tota MORIKAWA

(2000年6月13日受理)

要旨：ナラ類の集団的な枯損は、特定の未同定菌（仮称ナラ菌）が主因であることが示唆されている。そこで、筆者らは枯損発生林分の特徴を明らかにするとともに、接種試験による枯損の再現を試み、枯損の再現性の視点からナラ類集団枯損におけるナラ菌の病原性を検討した。この結果枯損発生林分の特徴として、①枯損はミズナラ上層木を中心に林分を転々としながら発生している。②枯損木はカシノナガキクイムシの大量穿孔から1～2ヶ月で枯死に至る。③枯損木からは例外なくナラ菌が分離され、その樹幹内の垂直分布はほぼカシノナガキクイムシの分布と一致する。④ナラ菌はカシノナガキクイムシによって伝搬されている。⑤枯損木の伐根からはまれにぼう芽枝が発生するが、翌年までには枯死することが確認され、ナラ菌の接種試験により、①カシノナガキクイムシはナラ菌の伝搬者であり、集団枯損の拡散はこの昆虫の移動によって起こっているが、接種は人為的な伝搬行為にあたる。②菌の接種木だけが接種後約1ヶ月で枯死し、集団枯損と同様な経過をたどった。③接種により集団枯損と同サイズのみズナラおよびコナラの上層木が枯死した。④接種枯死木のみからナラ菌が再分離され、木部（辺材部）における菌及び変色域の分布は集団枯損木と一致した。⑤枯死木の接種部位の下部からは集団枯損同様ぼう芽枝が発生し、それらは翌年には枯死したことが確認された。これにより、接種試験で現実の集団枯損を再現をできることが明らかになり、この菌がナラ類集団枯損を引き起こす主因であると判断された。

I はじめに

近年、カシノナガキクイムシ (*Platypus quercivorus* MURAYAMA) に穿入されたナラ類の集団枯損が本州の日本海側を中心に発生しており、被害はなお拡大を続けている (伊藤・山田, 1998)。この被害の原因は、これまでカシノナガキクイムシの加害 (松本, 1955; 齋藤, 1959) やナラタケ菌 (野淵1993 a, b) によるものとされてきたが、伊藤ら (1998) はナラタケ菌はナラ類の集団枯損とは関連がないものとし、枯損木から分

離された未同定菌 (仮称ナラ菌: 以下ナラ菌) の接種試験により、カシノナガキクイムシが伝搬すると考えられるナラ菌が主因である可能性を示唆した。しかし、伊藤らは (1998) この接種試験で、ナラ類集団枯損におけるナラ菌の病原性が完全に立証できた訳ではなく、この菌の同定や大径木への接種試験等のさらなる検討を要している。

一方、枯損被害はミズナラ林を中心に発生しているが、枯損木に関する報告は多いものの、被害の林分的特徴に関する報告は中村ら (1996) が

カシノナガキクイムシの加害特性についてふれているのみで、林分としての枯損過程は不明な点が多く、接種試験も林分的な被害の再現性についての検討は不十分であった。

そこで筆者らは、ナラ類集団枯損における林分的特徴を調査し、枯損被害を起こしているナラ類と同程度のサイズの立木を用いて、ナラ菌の接種による枯損被害の再現を試み、その病原性を検討したので報告する。

Ⅱ 研究 方 法

1. 集団枯損の特性

1) 枯損木の単木的特徴

健全なナラ類がカシノナガキクイムシの穿入を受け枯死に至るまでの外観的特徴を観察するため、山形県朝日村大針地内の激害林分周辺にモニタリング試験地を設定した。観察項目は、カシノナガキクイムシの穿入時期、穿入後の葉の変色時期、萎凋および枯死とした。

枯損木の材内へのカシノナガキクイムシの穿入状況と菌の分布状況を明らかにするため、カシノナガキクイムシの穿入数調査と菌の分離を行った。供試木は、山形県朝日村熊出地内の被害林から枯損木1本を伐倒し、地上高別に厚さ5cmの円盤を採取し、半分はカシノナガキクイムシの穿入数調査用、他方はナラ菌の分離用とした。カシノナガキクイムシの穿入数調査では、円盤を割材し材中の穿入数と穿入形態を確認した。菌の分離は、各円盤から約1cm角で4個の供試片を採取し、0.5%アンチホルミンで5分間表面殺菌後滅菌水で3回洗浄し、ポテトデキストロース寒天培地を用いて行った。

樹幹内にナラ菌が持ち込まれる経路を明らかにするために、カシノナガキクイムシの人工穿入丸太と未穿入丸太を作成し、この丸太からのナラ菌の分離試験を行った。丸太の作成は、1996年秋に伐採した約40cmの枯損丸太（枯損丸太）の両隣に1本ずつ計2本の約40cmの健全丸太を置き、内1本はカシノナガキクイムシが穿入しないように防虫ネットで被覆し（未穿入丸太）、1本は無被覆のまま（人工穿入丸太）として、室内の昆虫用飼育箱（縦80cm、横80cm、幅42cmの透明アクリル板製）内に2ヶ月間放置して行った。菌の分離試験は、各丸太から約1cm角の分離片10個

を採取し、上記の方法で菌の分離を行った。なお、分離片は、人工穿入丸太からはカシノナガキクイムシの孔道周辺、未穿入丸太と枯損丸太からは全体から一様に採取した。

2) 集団枯損林分の特徴

集団枯損発生林分における樹種特性、階層構造、被害の拡大様式を明らかにするために、1992年に朝日村間門の被害区域内に0.3haのモニタリング試験地を設定した。試験地は、林齢40～50年のミズナラを主とする林分である。樹種特性に関する調査では、被害の区分を枯損、被害（カシノナガキクイムシの加害はあるが緑葉を保つもの）、健全とし、試験地内の樹高4m以上の立木について毎木調査した。また、林分の階層構造と被害の拡大様式を明らかにするため、中村ら（1996）が調査したモニタリング試験地の一部について、筆者らも継続的な被害推移調査を行った。

枯損木の再生力を検討するため、伐根からのぼう芽枝の発生活消長を調査した。調査地は、被害区域内の山形県朝日村熊出と櫛引町西荒屋地内のミズナラを主とする40～50年生の集団枯損林分を設定した。1996年の8月から9月上旬に枯損した立木35本と健全木5本を供試木とし、枯損後速やかに地上30cmの部位で伐採し、伐根からのぼう芽枝の発生の有無とその消長について伐採後2年間観察した。

2. ナラ菌の接種試験

ナラ菌の接種によりナラ健全木を枯損させ、現実被害をどの程度再現しているかを比較して、集団枯損におけるナラ菌の病原性についてを検討した。ナラ菌の接種は、健全なミズナラの地上高1.0～1.2mの樹幹にドリルで接種孔（径8mm、深さ5cm、列間間隔5cm、列内間隔3cm）をあけ、そこにナラ菌を詰め込む方法で行った。接種源は、朝日村の熊出地内の枯損ミズナラから1996年4月に分離した菌株（山形県森林研究研修センター保存菌株、YA964）をノコクズとフスマと水の混合培地（重量比 1：1：1）を用いて、25℃で18日間培養したものである。接種に用いたナラ菌は、森林総合研究所東北支所窪野高德樹病研究室長に確認して頂き、接種木からの菌の再分離はナラ菌の再分離を目的として、菌叢による比較と同時に検鏡によりボロ型分生子を確認した。

表-1 予備接種試験の供試木サイズと枯損本数

	実施年	接種孔列数 (列)	平均樹高 (m)	平均胸高直径 (cm)	供試本数	枯損本数
菌接種区	1995	3	16.2	22.2	5	2
	1996	3	16.4	21.8	5	0
	"	6	15.8	23.6	1	1
	"	9	15.6	22.9	1	1
ドリル穿孔区	1995	3	15.6	20.7	5	0
	1996	3	18.5	22.4	5	0
	"	6	15.0	20.0	1	0
	"	9	16.0	20.8	1	0

枯損木は大量のカシノナガキクイムシの穿孔加害を受けて枯死していることから、安定的で実効性のある接種量を検討するために、接種孔の列数に関する予備試験を1995年と1996年に行った。試験は、被害地域から約20km離れた山形県森林研究研修センター試験実習林内（山形県西村山郡西川町沼山）で、約50年生ミズナラ林の上層を構成する平均胸高直径約20cmの健全なミズナラを供試木とし、接種時期を被害地でカシノナガキクイムシが健全木に加害する7月上旬として実施した。接種孔の列数は、1995年は3列で供試数を5本とし、1996年は3列、6列、9列で供試数を各5本、1本、1本として、ドリル穿孔後ナラ菌を培養した接種源を接種孔に詰め込んだ。また、それと同本数のドリル穿孔のみの区を対照区とした。

この予備試験の結果、1995年の接種孔3列では5本中2本の枯損が認められた（三河ら、未発表）。しかし、安定性を検証するために行った1996年の接種孔3列では枯損の発生が認められず、接種孔6列と9列に被害林分同様の枯損が認められた。また、ドリル穿孔のみの対照区では枯損が全く観察されなかった（表-1）。これらの結果から経験的に、接種孔の列数は5列で枯損の可能性が高く、接種作業の効率が高いと判断された。

この予備試験の結果をもとに、1997年に5列接種の本試験を実施した（図-1）。本試験は、予備試験と同じ場所で同様なサイズの供試木を用い、接種時期を6月30日、試験区を接種区、培地区、穿孔区の3区、供試数を各区5本として行った。接種区はナラ菌を培養した接種源を、培地区は殺菌した培地を用い、穿孔区はドリル穿孔のみの処理とした。

接種後は、樹冠の葉の外観的な変化を観察して、

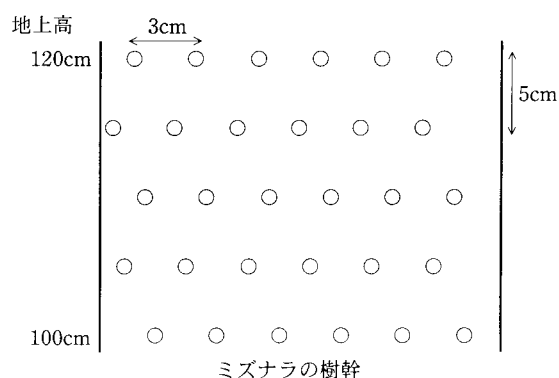


図-1 接種試験における接種孔の穿孔方法

被害発生地の枯損木の症状と比較し、樹冠の全葉が赤褐変した供試木を枯損木とした。観察はほぼ1週間ごとに、1997年7月2日から紅葉前の10月1日まで行った。

III 結果と考察

1. 集団枯損の特性

1) 枯損木の単木的特徴

① 枯損の経過

カシノナガキクイムシは、6月下旬から7月中旬にかけて集中的にナラ類に穿入するのが観察された。穿入後枯損に至る個体は、7月下旬から8月上旬にかけて葉が退色し、その後約2週間経過した8月中旬から下旬に全葉が赤褐色に変化し、枯損が確認された。この時点において冬芽がすでに形成されていることから、極めて急激な変化による枯損であることが明らかで、枯損木は冬でも赤褐色の葉を付けたままであった。

② 枯損木におけるカシノナガキクイムシの穿孔状況

枯損木には、多数のカシノナガキクイムシによる穿入孔とカシノナガキクイムシが排出した大量



図-2 カシノナガキクイムシの穿孔状況
大量の木屑と多数の穿入孔（穿入孔にはつまようじを差し込んである。）

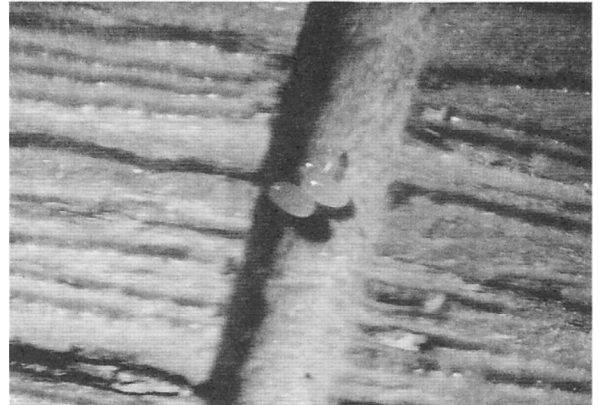


図-3 道管をつらぬくカシノナガキクイムシの孔道とその卵

供試木 No.1 胸高直径 18.9cm、樹高 14m					供試木 No.2 胸高直径 24.9cm、樹高 16m						
地上高	絶対虫数	地下部からの累積虫数比率			ナラ菌の 検出数	地上高	絶対虫数	地下部からの累積虫数比率			ナラ菌の 検出数
		0	50	100%			0	50	100%		
1000cm	1個体			●	0/4	1000cm	1個体			●	1/4
500	12			●	4/4	500	12			●	2/4
300	23			●	4/4	300	20			●	4/4
200	28			●	4/4	200	24			●	4/4
160	29			●	4/4	160	29			●	4/4
150	34			●	4/4	150	35			●	4/4
100	42			●	4/4	100	40			●	4/4
50	47			●	4/4	50	49			●	4/4
40	57			●	4/4	40	58			●	4/4
30	67			●	3/4	30	68			●	4/4
20	79			●	4/4	20	92			●	4/4
10	141			●	4/4	10	121			●	4/4
0	109	●			3/4	0	127	●			3/4
-10	17	●			3/4	-10	29	●			2/4
合計	686					合計	705				

図-4 カシノナガキクイムシとナラ菌のミズナラ樹幹内の垂直分布

ナラ菌の検出数は検出数片/供試数片で示した。
10m以上の部位からは、菌も虫も検出されなかった。

の木屑が見られた（図-2）。また、樹体内にはカシノナガキクイムシの複雑な孔道（図-3）と孔道周辺の黒褐色の変色が確認され、曾根ら（1995）や黒田・山田（1996）の報告と同様であった。また、カシノナガキクイムシの穿入は樹幹下部に集中しており、全数の約80%が地上高1mま

での樹幹下部であった（図-4）。

③樹幹内のナラ菌の分布

枯損木の樹幹横断面には辺材部の変色と形成層のえ死が確認され、黒田・山田（1996）の報告と同様であった。変色部からはナラ菌が高率で分離され菌糸も確認された（図-5）。その垂直分

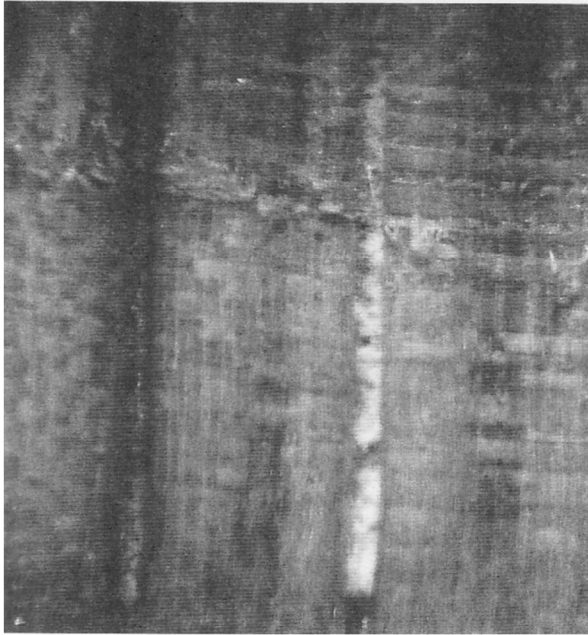


図-5 枯損木道管内のナラ菌の菌糸叢

布は樹高の約1/2から2/3の高さまで分布していることが明らかになり、三河ら（1995）の結果と同様であった。また、カシノナガキクイムシとナラ菌の分布がほぼ一致していることも明らかになった（図-4）。

④ナラ菌の伝搬経路

表-2にカシノナガキクイムシ人工穿入丸太からのナラ菌の分離結果を示した。ナラ菌はカシノナガキクイムシが穿入した丸太からは分離されたが、未穿入丸太からは分離されず、カシノナガキクイムシはナラ菌を伝搬できることが明らかになった。

一方、現実には発生している集団枯損においては、被害木は例外なくカシノナガキクイムシの穿入を受けており、三河ら（1995）と伊藤ら（1998）は穿入木からはナラ菌が分離されるが健全木からは分離されないことを明らかにしているし、筆者らは枯損木におけるカシノナガキクイムシとナラ菌の分布がほぼ一致していることを明らかにした。

これら現実の集団枯損における現象と人工穿入丸太からの分離結果を考え合わせると、ナラ類集団枯損においては、樹幹に穿入したカシノナガキクイムシがナラ菌を伝搬していることが明らかであり、カシノナガキクイムシが持ち込んだナラ菌が枯損と深い関わりをもっていると考えられる。

2) 集団枯損林分の特徴

①枯損樹種

調査地における樹種別の被害本数を表-3に示

表-2 ミズナラの人工穿入丸太からのナラ菌の分離数

丸太の種類	供試片数	ナラ菌	その他の菌
枯損丸太	10	10	0
人工穿入丸太	13	12	1
未穿入丸太	10	0	0

した。カシノナガキクイムシの穿入を受けても枯損に至らない被害木も多く、被害木の中でも完全に緑色を保つものから葉の大部分が変色するものまであり、被害の程度には大きな差異が認められた。また、この調査地はミズナラ林地帯に属するため調査地におけるコナラの本数はもともと少ないが、枯損の本数比率はミズナラ61%、コナラ14%であり圧倒的にミズナラで高かった。しかし、カシノナガキクイムシの穿入率には大きな違いがないことから、コナラはカシノナガキクイムシの穿入はかなり受けるものの、枯損に至るものは少ないことが明らかになった。

その理由については明らかではないが、カシノナガキクイムシの穿入を受けたコナラでは樹脂を出している被害木が多く観察されるが、ミズナラではほとんど見られないことから、カシノナガキクイムシの穿入に対する抵抗性に何らかの樹種的な差異があるものと考えられる。

②枯損の拡大様式

中村ら（1996）はモニタリング調査地において、上層、中層、下層の各層における枯損本数の推移を経年的に調査した。筆者らはこの調査を継続して行い、枯損本数と枯損率の推移を表-4に示した。枯損は単木的な被害に始まり、翌年には急激に増加し上層木のほとんどが枯損した。その後、被害は中層でわずかに見られたが上層の被害は認められず、さらにその1年後は残存木があるのにもかかわらず、枯損もカシノナガキクイムシの穿入加害もなくなり被害は一度終息した。しかし、その5年後には残った上層木に再び枯損が発生し、カシノナガキクイムシの回帰が認められた。

表-5、6に筆者らが調査を開始してからの山形県におけるナラ集団枯損被害の市町村別推移を示した。この表から明らかなように、枯損本数には変動があるものの調査期間中は継続して被害が発生していた。モニタリング地で被害が終息した1996年においても他の林分での枯損発生が認められ、被害地が移動して被害が継続発生している

表-3 モニタリング試験地の樹種別被害本数

樹種	健全木	被害木	枯損木	穿入木計	合計
ミズナラ	34(15%)	54(24%)	139(61%)	193(85%)	227
コナラ	4(29%)	8(57%)	2(14%)	10(71%)	14
その他	240(100%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	240

() 内の数字は全本数に対する比率である。
 その他は、イタヤカエデ、オオヤマザクラ、ブナ、ホオノキ、アカシデ、ハウチワカエデ等である。

表-4 集団枯損ミズナラ林の階層区分別枯損推移

階層	平均樹高(m)	ミズナラ本数(本)	1992年被害前年	1993年被害初年	1994年被害2年目	1995年~1999年被害3年目~被害7年目	2000年被害8年目
上層	16.4	78	0(0%)	1(1.2%)	54(69.2%)	54(69.2%)	59(75.6%)
中層	12.1	40	0(0%)	1(2.5%)	13(32.5%)	16(40.0%)	16(40.0%)
下層	3.9	11	0(0%)	1(9.1%)	3(27.3%)	3(27.3%)	3(27.3%)
計		129	0(0%)	3(2.3%)	70(54.3%)	73(56.6%)	78(60.5%)

() 内の数字は被害率である。

表-5 山形県におけるナラ類枯損被害の市町村別枯損本数推移

市町村名	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年	合計
朝日村	6,001	2,632	5,045	547	830	2,649	6,460	8,160	32,324
櫛引町			41	78	204	241	367	820	1,751
羽黒町			5	3	-	30	164	90	292
鶴岡市			7	1	6	58	339	720	1,131
立川町				9	-	-	18	380	407
藤島町								30	30
合計	6,001	2,632	5,098	638	1,040	2,978	7,348	10,200	35,935

単位：本。1993年はそれ以前の枯損も含む。

表-6 山形県におけるナラ類枯損被害の市町村別被害面積推移

市町村名	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年	合計
朝日村	99.60	46.76	86.90	4.33	12.82	34.06	28.11	47.71	360.29
	99.60	36.28	61.48	2.84	4.11	21.25	25.93	44.72	296.21
櫛引町			0.89	0.59	0.57	1.02	2.73	6.21	12.01
			0.89	0.36	0.51	0.73	2.27	6.19	10.95
羽黒町			0.03	0.02	-	0.82	2.50	1.21	4.58
			0.03	0.02	-	0.82	1.42	1.17	3.46
鶴岡市			0.07	0.01	0.02	0.39	2.80	3.86	7.15
			0.07	0.01	0.02	0.39	2.55	3.75	6.79
立川町				0.07	-	-	0.16	8.03	8.26
				0.07	-	-	0.16	7.92	8.15
藤島町								0.08	0.08
								0.08	0.08
合計	99.60	46.76	87.89	5.02	13.41	36.29	36.30	67.10	392.37
	99.60	36.28	62.47	3.30	4.64	23.19	32.33	63.83	325.64

単位：ha。上段は当年実面積、下段は既発生地を除いた実面積。
 1993年はそれ以前の枯損も含む。

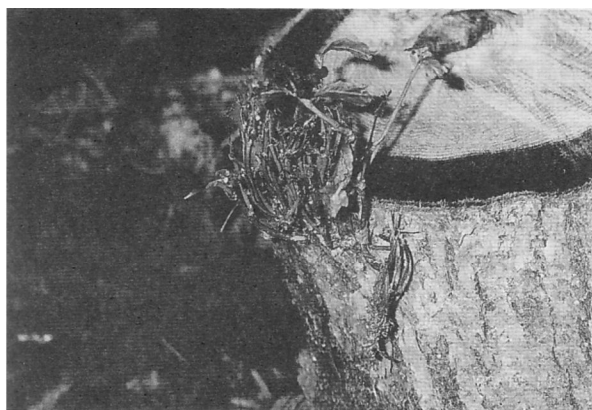


図-6 枯損伐根からのぼう芽枝発生状況

ことが明らかになった。

このように集団枯損被害は、林分としての被害は上層木の大半が枯損する数年で一度終息するが、カシノナガキクイムシの穿入加害すらなかった周辺の林分に被害が拡散したり、一度被害が終息した林分でも数年後に再び枯損被害が発生したりして、林分を転々と移動しながら繰り返されるのが特徴である。また、筆者らは枯損木に対するカシノナガキクイムシの再加害がないことを確認しているが、一度被害が終息した林分では新たなカシノナガキクイムシの穿入加害もないことから、被害終息林分からはカシノナガキクイムシは移動してしまったものと考えられる。このことから、このような移動的な拡大様式をとりながら集団枯損被害が継続発生しているのは、カシノナガキクイムシの移動によるものと考えられる。

③枯損の階層的特徴

表-3のモニタリング調査地の結果では、被害は3年で一度終息し、その時点における枯損率は上層木69.2%、中層木40.0%、下層木27.3%であったが、5年後に再び上層木に枯損が認められ、上層木の枯損率は75.6%となった。

この結果から、枯損は圧倒的に林分の上層木に多く、集団枯損は上層を構成できるサイズの大きい林木を中心とする被害の特徴をもっている。このようにサイズの大きい林木に被害が多い理由については、カシノナガキクイムシが複雑で高密度な大孔道を作る習性を持っていることから、加害には大きなサイズの立木が有利であるためと推察されるが、このことについてはさらに詳細な検証が必要である。

④被害林の再生力

被害林の枯損木伐根からはまれにはあるが、

表-7 伐根からのぼう芽発生とその消長

枯損健全別	調査株数	伐採当年			伐採翌年		
		ぼう芽発生株数		ぼう芽未発生	ぼう芽生存株数		ぼう芽枯死株数
		生	死	株数	生	死	
枯損伐根	35株	4株	6株	25株	4株	0株	4株
健全伐根	5	5	0	0	5	5	0

ぼう芽枝の発生が確認された(図-6)。表-7に枯損当年及び翌年の伐根からのぼう芽発生とその消長を示した。健全木伐根からのぼう芽枝の発生は当然としても、枯損木の伐根からもぼう芽枝の発生がいくらか見られたが、それらは当年か翌年には枯死してしまった。一方、筆者らが行った枯損木の根系調査では、枯損直後の吸収根は形成層、内樹皮とも生きているが、樹幹部の枯死に伴う急激な変化のために徐々に死に至り、枯損後2ヶ月程度でほとんどの枯損木の吸収根が枯死していることが確認された。このことから、枯損木からもぼう芽枝の発生がまれに認められるのは、樹幹部は枯死しても根系がしばらく生きていることによって起こると考えられ、ぼう芽枝を発生させてもその生存期間はせいぜい1年程度と考えられる。

同様の現象は樹幹下部においても認められた。地際部を防虫ネットで覆いネット上部の樹幹への穿入加害により枯損に至った個体では、ネット被覆部にしばしばぼう芽枝が発生したが、翌年には枯死した。このぼう芽枝の発生部位から判断して、ナラ類の枯損は当初はカシノナガキクイムシの集中加害部位を含む上部で起こり、樹幹部の枯死に伴いその後地下部も枯死することで樹木体全体が枯死に至ると考えられた。

2. ナラ菌の接種試験によるミズナラの枯損

接種試験の供試木サイズと枯損本数を表-8に、地上高別の辺材部変色域と再分離されたナラ菌の垂直分布を図-7に示した。

集団枯損発生林分と同程度のサイズのミズナラを用いた本接種試験において、ナラ菌接種区だけで枯死が発生し、他の処理区では枯死に至らないことが確認された(表-8)。またぼう芽枝は、接種区の枯損木においても、接種部の下部からの発生が確認されたが翌年には枯死した。一方培地区と穿孔区では、発生したぼう芽枝が翌年も生存

表-8 本接種試験の供試木サイズと枯損本数

試験区	接種孔列数 (本)	供試数 (本)	平均樹高 (m)	平均胸高直径 (cm)	枯損数 (本)	ぼう芽 発生本数	翌年のぼう芽 発生本数
接種区	5	5	15.2	19.5	5	4	0
培地区	5	5	15.2	19.0	0	5	4
穿孔区	5	5	15.4	20.8	0	5	5

地上高 (m)	接種区		培地区		穿孔区	
	ナラ菌	変色部	ナラ菌	変色部	ナラ菌	変色部
11.0 ~ .05	-	△	-	-	-	-
10.0 ~ .05	-	△	-	-	-	-
9.0 ~ .05	+	●	-	-	-	-
8.0 ~ .05	+	●	-	-	-	-
7.0 ~ .05	+	●	-	-	-	-
6.0 ~ .05	+	●	-	-	-	-
5.0 ~ .05	+	●	-	-	-	-
4.0 ~ .05	+	●	-	-	-	-
3.0 ~ .05	+	●	-	-	-	-
2.0 ~ .05	+	●	-	-	-	-
1.5 ~ .55	+	●	-	○	-	-
1.4 ~ .45	+	●	-	○	-	-
1.3 ~ .35	+	●	-	○	-	○
1.15 ~ .20	-	●	-	▲	-	▲
1.10 ~ .15	-	●	-	▲	-	▲
1.05 ~ .10	-	●	-	▲	-	▲
1.00 ~ .05	+	●	-	▲	-	▲
0.5 ~ .55	+	●	-	-	-	-
0.3 ~ .35	-	-	-	-	-	-
0.1 ~ .15	-	-	-	-	-	-

図-7 ミズナラ供試木のナラ菌と辺材部変色域の垂直分布

- +はナラ菌分離、-はナラ菌未分離。
- は材の変色が認められ、形成層もえ死。
- ▲は材の変色が認められ、形成層は一部え死。
- は材の変色は認められるが、形成層のえ死なし。
- △は材の変色は認められないが、形成層はえ死。
- は接種部位。

していることが確認された。

接種区の枯死経過は、現実の集団枯損林分における観察と極めて類似しており、接種後約2週間ですべての供試木に葉の萎凋が確認され、接種1ヶ月後の8月1日に供試木4本の枯死が確認された。残りの1本の供試木については、葉の大部分が赤褐変したものの一部に緑葉を保つ状態がしばらく続き、枯死が確認されたのは8月19日であった。これに対し、培地区と穿孔区の供試木は葉の退色や枯死は全く認められなかった。

接種試験における菌の再分離では、接種区のみでナラ菌が分離され、他の試験区の供試木からは

分離されなかった。接種区枯死木の樹幹内におけるナラ菌の垂直分布において、接種部周辺では *Trichoderma sp.* の侵入、優占のためナラ菌は確認されなかったが、接種部上方では9mの高さまで確認されたのに対して、下方ではわずかに確認されただけであった。また、枯死木の樹幹内での変色域とナラ菌の垂直分布とは一致し、接種部のみならず接種部上方の全周にわたる形成層のえ死が確認された。一方、培地区と穿孔区でも変色域は見られるがナラ菌は分離されず、接種及び穿孔部においても全周にわたる形成層のえ死は確認されなかった(図-7)。

ナラ菌の接種試験において、菌の接種木のみが集団枯損木と類似した経過をたどり、ぼう芽枝の発生を伴いながら枯死し、菌も同様に再分離されたことから、枯死はナラ菌の接種によって引き起こされたものと考えられた。またナラ菌の再分離において、菌は接種部よりも上方への分布が多いことが明らかになったが、このことは道管内の水分移動との関連があると推測されるが詳細な検討が必要である。

3. 枯損の再現性からみたナラ菌の病原性

カシノナガキクイムシはナラ菌を伝搬しており、ナラ菌の接種によりミズナラが枯死することは明らかとなった。そこで筆者らは、この接種試験による枯死が現実の集団枯損を再現しているものであれば、集団枯損におけるナラ菌の病原性が明らかになると考え、接種試験における枯死と集団枯損との比較から、集団枯損におけるナラ菌の病原性を検討した。

1) 枯損木の単木的特徴の再現性

現実の集団枯損において、樹体内への菌の持ち込みはカシノナガキクイムシによって行われているが、接種試験における菌の接種はまさにこの行為に該当する。接種試験では接種時期を7月上旬、接種部位を樹幹下部としたが、これは現実のカシノナガキクイムシの穿入行動と同じであり、接種

方法として深さ5 cmの5列ドリル穿孔の接種孔を用いたことは、大量のカシノナガキクイムシが樹体内で多数の複雑な孔道を構築して、菌の樹幹の接線方向への進展を促進している様態と同じ行為にあたると思われる。これらのことから、この接種試験における接種は、集団枯損における人為的な樹体内への菌の持ち込み行為であると判断できる。

この接種の結果、接種後の枯死に至る経過はその時期および状況とも現実被害林における枯損木の単木被害特徴と極めて類似していたし、枯死木におけるナラ菌と変色域の分布は現実被害林の単木被害特徴と一致していた。また、ナラ菌が接種した枯損木以外に検出されなかったことは、カシノナガキクイムシの穿入がない個体からはナラ菌が分離されないという結果と一致していた。

2) 集団枯損の林分的特徴の再現性

西垣ら(1998)は環状剥皮による接種試験により、コナラにおいてもナラ菌の病原性を確認しているが、筆者らも今回の接種試験と同様のドリル穿孔による接種試験において、コナラもミズナラとまったく同様に枯死することを確認している(未発表)。これらのことから、集団枯損の主な樹種であるミズナラおよびコナラはナラ菌の接種により枯死することは明らかである。しかし、現実の集団枯損における枯損樹種は圧倒的にミズナラが多いが、筆者らの接種試験ではミズナラとコナラの枯死割合に大きな差はなく、樹種的な枯損割合の違いを再現することはできなかった。この接種試験の結果から見て、現実の集団枯損における樹種的な枯損割合の違いは、ナラ菌に対する抵抗力よりもカシノナガキクイムシの穿入行動に対する反応に何らかの差があるものと推察されるが、今後さらに検討が必要である。

これまで伊藤ら(1998)は環状剥皮による接種試験により、ミズナラ小径木を枯死させている。今回の接種試験では、上層を形成するミズナラ大径木をも枯死させることができた。この接種試験によりナラ菌を接種することで、上層木に枯損が多いという現実の集団枯損の林分的特徴を再現できることが明らかになった。また、筆者らは予備試験を始めとする接種試験において、数カ所の健全な林分でミズナラやコナラを枯死させた。このことはカシノナガキクイムシが林分を移動しながら菌を運ぶ集団枯損の被害拡大様式と一致して

り、接種試験による林分的な拡大様式の再現もできたと考えられる。

接種試験による枯死木からはぼう芽枝の発生が確認され、翌年には枯死に至った。このことは、集中加害下部にあたる根系は樹幹上部の枯死直後は生存し、ぼう芽枝を発生させる能力を有するが、時間の経過とともに枯死することと一致している。ただし、接種試験による枯死木のぼう芽枝発生率は現実林分より高いが、これは枯死直後における生存部分の高さの違いにより生じたことで、接種部が地際部であれば現実林分のぼう芽枝の発生率と変わりがないものと考えられ、枯損木の再生力についても充分再現ができたものと考えられる。

3) 集団枯損におけるナラ菌の病原性

ナラ菌の接種試験によるミズナラおよびコナラの枯損は、枯損発生地における枯損木の単木被害特徴および林分的特徴とほぼ一致しており、現実林分における枯損を充分再現していることが確認された。したがって、ナラ菌の接種によるナラ類の枯損は現実の集団枯損を人為的に再現したものと判断でき、これにより、ナラ類の集団枯損においてナラ菌にはナラ類を枯損させる病原性があり、カシノナガキクイムシが運ぶナラ菌が集団枯損を引き起こす主因であると考えられる。

今後はこのような枯損の主因と考えられるナラ菌の伝搬経路に着目した防除技術の開発が必要であり、ぼう芽による更新が望めないことから健全な森林再生のための更新方法の検討が必要である。

なお、本報告にあたり供試木から分離した菌の同定と多大なご助力を頂いた三重大学伊藤進一郎助教授並びに森林総合研究所東北支所樹病研究室窪野高德室長に厚くお礼申し上げます。

IV 引 用 文 献

- 伊藤進一郎・山田利博(1998) ナラ類集団枯損被害の分布と拡大. 日林誌80: 229-232.
- 伊藤進一郎・窪野高德・佐橋憲生・山田利博(1998) ナラ類集団枯損に関連する菌類. 日林誌80: 170-175.
- 黒田慶子・山田利博(1996) ナラ類の集団枯損にみられる辺材部の変色と通水機能の低下. 日林誌78: 84-88.
- 松本孝介(1955) カシノナガキクイムシの発生

と防除状況. 森林防疫 4 : 74-75.

三河孝一・三浦直美・小野瀬浩司・齊藤正一・森川東太・中村人史 (1995) 山形県におけるナラ類の集団枯損について (I) — 被害木の地上高別菌の分離 —. 日林東北支誌47 : 79-80

中村人史・齊藤正一・三浦直美・三河孝一・小野瀬浩司 (1996) ナラ類集団枯損におけるカシノナガクイムシの加害特性と防除に関する一考察. 山形林試研報26 : 9-13.

西垣眞太郎・西 信介 (1998) ナラ類集団枯損木から分離された菌類の水分生理への影響. 日林論 109 : 369-370.

野淵 輝 (1993 a) カシノナガクイムシの被害とナガクイムシ科の概要 (I). 森林防疫42 : 85-89.

野淵 輝 (1993 b) カシノナガクイムシの被害とナガクイムシ科の概要 (II). 森林防疫42 : 109-114.

齋藤孝蔵 (1959) カシノナガクイムシの大発生について. 森林防疫ニュース8 : 101-102.

曾根晃一・森 健・井出正道・瀬戸口正和・山之内清竜 (1995) X線断層撮影法 (CTスキャン) のカシノナガクイムシの坑道調査への応用. 応動昆誌39 : 341-344.

短 報

ナラ類集団枯損被害立木へのくん蒸剤注入による カシノナガキクイムシとナラ菌の防除法の改良

齊 藤 正 一・中 村 人 史・三 浦 直 美

The improved method of protection by carbamate fumigant from
Platypus quercivorus and unknown fungus to dead trees on mass mortality of oak

Shōichi SAITO, Hitoshi NAKAMURA, Naomi MIURA

(2000年6月13日受理)

要旨：筆者らはこれまでに日本海側を中心に発生し、終息のめどがたっていないナラ類の集団枯損被害に対する薬剤による枯損立木への直接注入処理方法について開発した。この処理方法は、ナラ類の枯損に関与するカシノナガキクイムシは樹幹下部に集中して生息することから、薬剤処理の範囲を地際から地上1.5mとし、虫の複雑な穿孔に接触・貫通するように薬剤注入孔をあけ、ガス化の早いカーバム系くん蒸剤を注入処理するものである。本処理法の実用上の課題である使用器具の検討と施用方法の改良について試験した。その結果、①背負い式の2サイクルエンジンを動力とするドリルを使用することにより作業性や作業効率が向上した。②直径10.5mm・深さ25mmの薬剤注入孔をあければ使用する薬液量も約2ml/孔と少量で有効に処理でき、環境への負荷を軽減できた。③注入孔の配置は、地際から地上50cmは10cm千鳥、50cmから150cmは20cm千鳥とすることが効果的で、その場合は薬剤注入部ではカシノナガキクイムシを完全殺虫でき、処理木全体でも約9割の殺虫が可能で効率的な駆除ができた。本処理によりカシノナガキクイムシの密度が低下し、枯損の原因となるナラ菌の分散抑制が図られるもの考えられる。

I は じ め に

近年、日本海側の各地でナラ類の集団枯損被害が発生している。1990年以降の被害地域は山形、新潟、石川、福井、滋賀、岐阜、京都、兵庫、鳥取、島根の10府県となっており^(4, 8)、1999年には太平洋側の三重県、奈良県、和歌山県でも被害が発生し⁽²⁾、被害終息のめどはいまだにたっていない。

ナラ類は急峻な箇所には生育しており、枯損により、根の緊迫力が弱まり林地保全上大きな問題となっている。激害林分では上層林冠を短期間で失いユキツバキを主とした低木の繁茂により高木性広葉樹の更新が困難な場合があるうえ、8月中旬ころから葉が褐変し、枯損する状況は景観上も好ましいことではないことから、被害原因の究明と並行して防除技術の開発が強く求められている。

被害の原因究明については、三河ら(未発表)および伊藤ら⁽³⁾は、ポロ型分生子を持つ未同定菌(仮称ナラ菌、以下ナラ菌)がナラ類の枯損に深く関与していることを示唆している。さらに、伊藤ら⁽³⁾はナラ菌をカシノナガキクイムシ(*Platypus quercivorus*)が伝搬している可能性について報告しており、研究は進展してきている。

しかし、現実の被害を終息させるための有効な防除方法はこれまでにないため、筆者らは枯損に関与するカシノナガキクイムシとナラ菌の防除試験を繰り返し実施してきた^(6, 7)。そして筆者らは枯損木を伐倒せず、そのまま樹幹に薬剤注入孔(以下注入孔)をあけ、ヤシマ産業製NCS(有効成分：N-メチルジチオカルバミン酸アンモニウム50%、以下NCS)を注入する方法を考案した。この方法で、NCS注入部位ではカシノナガキクイムシの完全殺虫とナラ菌の大部分の殺菌がで

き、処理立木全体で約9割の殺虫ができることが明らかになった^(7, 8)。これらの結果をもとに、1999年12月にナラ類集団枯損用の駆除薬剤としてNCSが薬剤登録されている⁽¹⁾。

しかし、本処理方法については、実用化に向けた2点の改良が必要である。すなわち、使用する用具の軽量化と注入孔の穿孔密度や注入孔の深さについての検討である。今回はこれらを検討し、実用的かつ効率的な防除方法としたので報告する。

本試験にあたっては、森林総合研究所田畑勝洋多摩森林科学園長、三重大学伊藤進一郎助教授、森林総合研究所吉田成章生物管理科長、同所東北支所窪野高德樹病研究室長、同昆虫研究室衣浦晴生主任研究官よりご助言をいただいたことに深く感謝申し上げます。また、試験実施にあたって株ヤシマ産業研究開発部久田芳夫担当部長、阿部豊課長および東北営業所下之門英章氏にご協力いただいたので併せて感謝申し上げます。

なお、本研究は平成8～11年度の国庫システム化事業「ナラ類の集団枯損原因の解明と防除法の開発に関する調査」により実施した。

II 試験方法の検討

筆者らはこれまでに、枯損立木のNCS処理について施用効果や作業能率向上のため、注入孔数の削減に関する検討を加えてきた。表-1に示すとおり、枯損立木において駆除対象となるカシノナガキクイムシは地中を含む樹幹下部に多く生息し、地上約1mまでの部位に単木当たり約8割が生息すること、ナラ菌はカシノナガキクイムシの生息する部位で多数検出されることが明らかになっている⁽⁶⁾。そのため、筆者らは樹幹下部の駆除に焦点を絞り、深さ50mmの注入孔の穿孔数を変えてNCS処理による薬剤効果調査をした。その結果、地上0～50cmまでは10cm千鳥、地上50～150cmの間は20cm千鳥に注入孔を穿孔する試験区、地上0～150cmまで全て10cm千鳥で注入孔を穿孔する試験区としたところ、両者ともにNCS注入部位ではカシノナガキクイムシの完全殺虫とナラ菌の大部分の殺菌ができ、処理立木全体で約9割の殺虫ができ、両処理の間に差がないことが明らかになった。この時点で、地上0～50cmは10cm千鳥、地上50～150cmは20cm千鳥に注入孔をドリル穿孔し、NCSを注入して、注

表-1 ミズナラ枯死木内のカシノナガキクイムシとナラ菌の垂直分布

地上高 (cm)	胸高直径 19cm、樹高 14m		ナラ菌	
	カシノナガキクイムシ 絶対虫数	累積生息率	有無	検出数
1000	1 頭	100 %	無	0/4
500	12	100	有	4/4
300	23	98	有	4/4
200	28	95	有	4/4
160	29	91	有	4/4
150	34	87	有	4/4
100	42	83	有	4/4
80	45	77	有	4/4
50	47	71	有	4/4
40	57	64	有	4/4
30	67	56	有	4/4
20	79	47	有	4/4
10	141	37	有	4/4
0	109	17	有	3/4
-10	17	2	有	3/4

入孔をガムテープ被覆する方法を防除法として確立し、作業能率は27分/本・人であることを報告している⁽⁸⁾。

開発した防除方法については、注入孔のドリル穿孔には約10Kgの発電機と2Kgのコード付きの電気ドリルを使用するため、運搬や作業が困難なことから器具の軽量化とコードなしでドリル穿孔ができるような器具の改良が求められていた。また、NCS処理のための注入孔については、作業効率の面からこれまでと同様の効果を維持しながら注入孔数の減少や注入孔の深さについて検討する必要があった。そこで、この2点について枯損被害現地で試験を実施した。

III 試験方法

1. 使用器具の検討

試験の概要を図-1にまとめて示した。

使用器具の試験は、注入孔のドリル穿孔器具の違いにより区分し、改良型と従来型を比較した。改良型は、6.6Kgの軽量の背負い式刈払い器の2サイクルエンジンを動力とした附属ドリル（以下背負い式ドリル）と深さ25mm用のドリルの刃を使用した（改良型25mm区）。対照の従来型は、発電機による電気ドリルと深さ25mmおよび50mm用のドリルの刃を使用した（従来型25mm

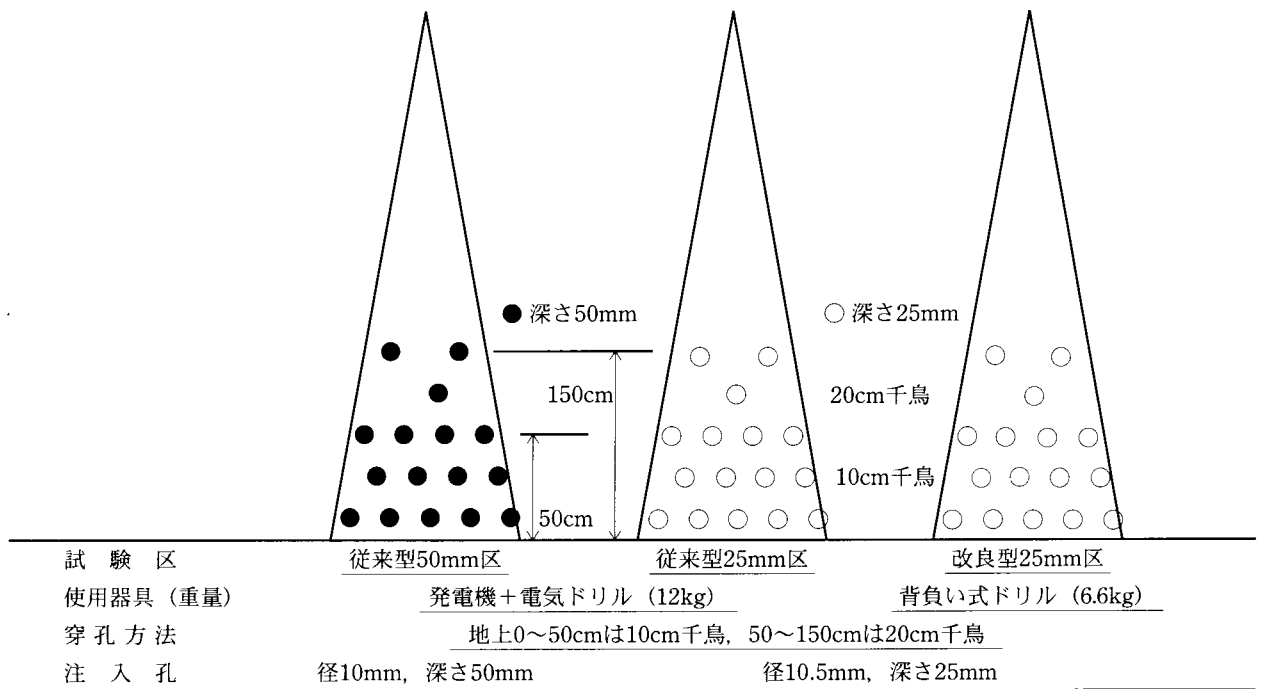


図-1 使用器具の改良試験の概要図

区と同50mm区)。調査は作業時間と注入孔の深さの違いによる殺虫・殺菌効果も比較することとした。

試験に用いた器具は、改良型25mm区では、背負い式エンジンが山田機械工業製B33M（排気量32.6cc）、附属のドリルが同社製菌打用BK、ドリルの刃が大西工業製コンパネビット（径10.5mm、長さ35mm）である。対照の従来型の試験区では、発電機がヤマハ製ET800（定格650VA）、電気ドリルが日立製WD15Y（出力350W）、ドリルの刃については25mm区で改良型25mm区と同様とし、50mm区は小林ギムネ製作所木工用ドリル（径10mm、長さ80mm）とした。

試験地は、山形県朝日村砂川地内の集団枯損被害が97年から発生したミズナラを主とする約50年生の林分で平均胸高直径22cm、平均樹高14mであった。供試木は枯損木として平均的な胸高直径約20cmの98年秋季に枯死したミズナラ各5本とした。

試験は新成虫の羽化脱出前の99年5月下旬にNCS処理を行い、2週間後に供試木から新たな木屑の有無を確認し、5本の内から1本を任意に抽出して伐採し、所定の位置から円盤を採取した。なお、NCS処理の方法はこれまで同様、地上0~50cmは10cm千鳥、50~150cmは20cm千鳥でドリル穿孔した注入孔にNCS原液をあふれる寸前

まで注入し、布製のガムテープで注入孔を被覆した。

2. 注入孔数の減少に関する改良

試験の概要を図-2に示した。

器具の改良結果に基づき、注入孔数を減じて作業性を向上するとともに、薬剤の使用量を減じてより環境負荷の少ない方法を検討することにした。

試験地は前述と同様で、試験区は、①これまで最良の方法である地上0~50cmは10cm千鳥、50~150cmは20cm千鳥で注入孔をあける10+20cm千鳥区、②地際より垂直方向へ50cm間隔で地上150cmまでを対象に水平方向は20cm間隔で環状に注入孔をあける50cm間隔20cm環状区、③地際より垂直方向へ25cm間隔で地上150cmまでを対象に水平方向は15cm間隔で環状に注入孔をあける25cm間隔15cm環状区とした。供試木は、胸高直径20cm程度の99年秋季に枯死したミズナラ各5本とした。

試験は、当年度の枯死が確認される99年9月に前述の試験同様のNCS処理を行い、2週間後に供試木の新たな木屑の有無を確認し、5本の内から1本を任意に抽出して伐採し、所定の位置から円盤を採取した。

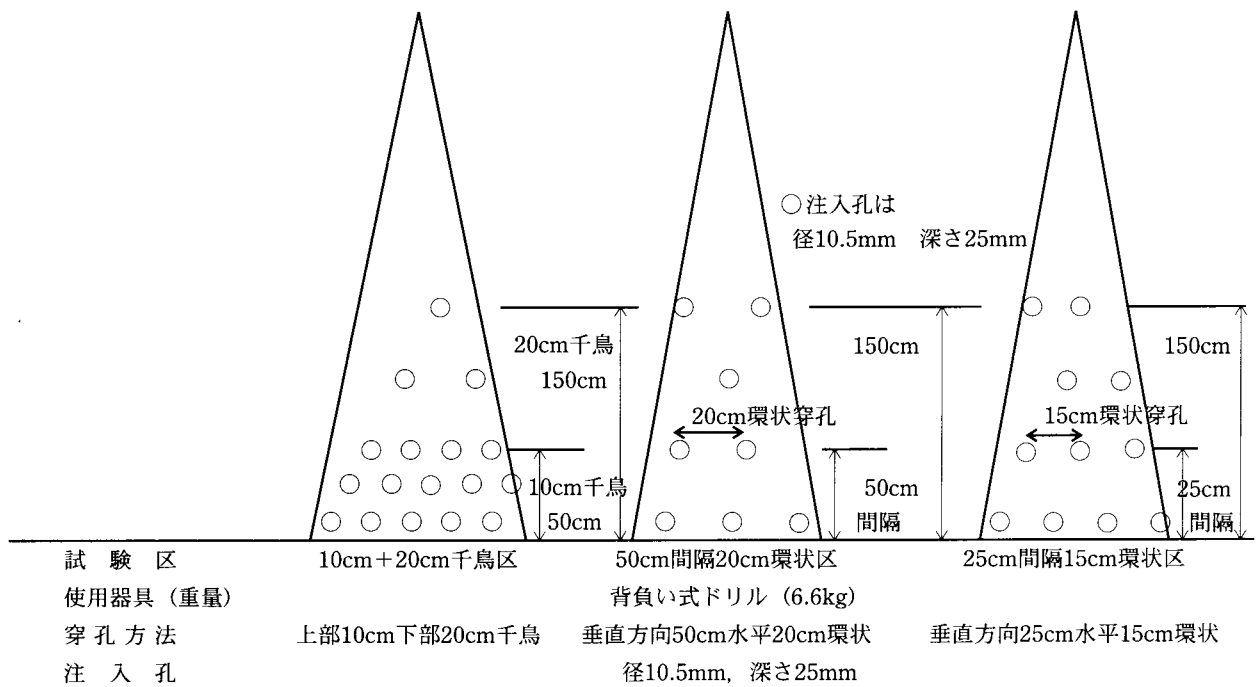


図-2 穿孔数の減少に関する改良試験の概要図

3. 薬剤処理の効果調査

前述の2種類の試験において、処理2週間後に採取した円盤から殺虫数およびナラ菌の検出数を確認した。円盤の採取高は、地上10、30、50、80、100、130、150、160、200、300、500、1,000cmとし、厚さ約10cmの各円盤を半分にして、一方をカシノナガキクイムシの殺虫効果確認のために割材し、他方をナラ菌の殺菌効果確認のために使用した。

ナラ菌の殺菌効果については、採取した円盤から採取した材片より検出されるナラ菌の検出数を本試験における殺菌効果の目安とした。ナラ菌の検出には、半分にした円盤の辺材部分の孔道壁を含む任意の4ヶ所の位置から1cm角の材片を採取し、次亜塩素酸ナトリウム(有効塩素0.5%)で表面殺菌し、滅菌水で3回洗浄した後、風乾してPDA平板培地の中心に材片を置き20℃で培養した。培養後確認されたナラ菌を単離して各地上高別に供試材片4個に対するナラ菌の検出数により殺菌効果の目安とした。

4. 実用的な薬剤防除法の経費の試算

実施した試験について、防除事業での活用を想定して薬剤防除経費を試算した。経費は、直接経費(人件費・資材費等)と諸経費(公共事業で経験的に得られた直接経費の2割)に区分し、試験

での工期調査の結果は、3人1組・実質就労時間7時間とした胸高断面積1,000cm²当りの金額で試算した。

5. 本薬剤防除法の適用範囲の検討

被害林内では、カシノナガキクイムシの穿入を受けている立木でも結果的に枯死しないもの(以下穿入木)もある。カシノナガキクイムシは、穿入木より枯損木に多数生息していることが確認されており⁽⁹⁾、本薬剤防除法もこの枯損立木を対象としてこの樹幹内に多数生息するカシノナガキクイムシの密度を低下させ、ナラ菌の分散を防ぐことを目的としている。しかし、虫密度の低下を意図する場合、枯死しない穿入木を防除対象とするか否かも検討する必要がある。そのため、穿入木からのカシノナガキクイムシの脱出状況を確認するとともに、被害現地の穿入木を対象に今回開発した最良の方法で処理した場合の処理木の状態と殺虫効果について調査した。

穿入木からのカシノナガキクイムシの脱出状況については、被害が著しい山形県朝日村大針地内のミズナラを主とする林分において、1998年夏季にカシノナガキクイムシが穿入したミズナラ9本、コナラ3本計12本を対象に、羽化脱出する前の1999年5月31日において、20メッシュの防虫ネットの地際を埋め込み地上150cmまでを被

表-2 使用器具の違いによる作業時間と供試木の殺虫率とナラ菌の検出数

試験区	従来型50mm区			従来型25mm区			改良型25mm区			
作業用具 (重量)	発電機・電気ドリル (12Kg)						背負い式ドリル (6.6Kg)			
注入孔穿孔方法	地上0~50cmは10cm千鳥、50~150cmは20cm千鳥で穿孔									
供試木本数	5本			5本			5本			
平均胸高直径・樹高	22.3cm, 16m			21.6cm, 15m			23.9cm, 17m			
平均注入孔数	11列53個			11列42個			11列58個			
平均薬剤使用量	142ml 2.6ml/孔			86ml 2.0ml/孔			111ml 1.9ml/孔			
周囲刈払い	1分50秒			1分50秒			1分50秒			
注入孔穿孔	12分20秒			12分20秒			12分20秒			
薬剤注入	5分10秒			5分10秒			5分10秒			
ガムテープ被覆	5分30秒			5分30秒			5分30秒			
その他 (休憩等)	1分40秒			1分40秒			1分40秒			
作業時間合計	27分/本・人			25分/本・人			17分/分・人			
3人1組の作業量	@6本/時, 42本/日			@7本/時, 49本/日			@10本/時, 70本/日			
処理2週後の木屑の有無	無し		5本/5本	無し		5本/5本	無し		5本/5本	
	殺虫率		ナラ菌	殺虫率		ナラ菌	殺虫率		ナラ菌	
薬剤注入	地上高 (cm)	部位別	累積	検出数	部位別	累積	検出数	部位別	累積	検出数
無	1000	0%	92%	1/4	0%	91%	1/4	12%	94%	3/4
無	500	17	92	4/4	22	90	4/4	9	94	4/4
無	300	71	91	4/4	68	90	3/4	59	93	1/4
無	200	88	90	2/4	95	89	4/4	86	92	4/4
無	160	100	88	0/4	100	87	0/4	100	90	1/4
有	150	100	86	0/4	100	84	0/4	100	88	0/4
有	130	100	85	0/4	100	82	0/4	100	80	0/4
有	100	100	77	1/4	100	73	0/4	100	72	0/4
有	80	100	62	0/4	100	59	0/4	100	55	0/4
有	50	100	52	0/4	100	47	0/4	100	42	0/4
有	30	100	39	0/4	100	33	1/4	100	36	0/4
有	10	100	20	0/4	100	21	0/4	100	18	1/4

覆、ネット上部をゴムバンドで固定した。その際にネット内の樹幹部根際に粘着剤を塗布した。新成虫の羽化脱出の確認は、ネット内で飛行していたものと根際の粘着剤に捕獲されたものの数を5~8月まで月2回、計8回確認し成虫を確認できたものを羽化脱出ありとした。

穿入木でのNCS処理法の適合性の検討については、同試験地においてカシノナガキクイムシが1999年夏季に穿入したミズナラ、コナラ、クリ各1本を対象に今回開発した方法で9月末に処理し、2週間後に殺虫効果と処理木の生死を確認した。対照は処理木周辺に生息する同樹種の穿入木とし、処理木の状況と比較した。なお、処理時期の9月末以降に試験地周辺で枯死した立木は見当たらなかった。

IV 結果と考察

1. 使用器具の検討結果

使用器具の違いによる作業時間と殺虫率とナラ菌の検出数について表-2に示した。

胸高直径約20cmのミズナラ立木1本当たりの合計処理時間は、改良型25mm区が17分/人、従来型50mm区が27分/人、従来型25mm区が25分/人であり注入孔の穿孔に関しては、コードが障害とならない背負い式ドリルによる方法の作業効率が格段に良いことが明らかになった。

処理2週間後の供試木の状況は、各試験区の供試木の樹幹からは新たな虫屑が確認されなかった。また、各試験区の任意の供試木1本を割材して殺虫状況を確認したが、薬剤注入部では各試験区とも完全殺虫されており、単木当りの殺虫率も

表-3 注入孔の配置の違いによる殺虫率とナラ菌の検出数

試験区	10cm+20cm千鳥区		50cm間隔20cm環状区		25cm間隔15cm環状区								
平均胸高直径・樹高	19.6cm、16m		18.9cm、15m		23.9cm、17m								
平均注入孔数	11列51個		4列17個		7列43個								
平均薬剤使用量	86ml 1.7ml/孔		32ml 1.9ml/孔		85ml 1.9ml/孔								
処理2週後の木屑の有無	無し 5本/5本		無し 0本/5本		無し 0本/5本								
薬剤注入	地上高(cm)	殺虫率			ナラ菌			殺虫率			ナラ菌		
		部位別	累積	検出数	部位別	累積	検出数	部位別	累積	検出数	部位別	累積	検出数
無	1,000	50%	96%	1/4	0%	61%	1/4	0%	64%	2/4			
無	500	33	96	3/4	25	61	3/4	19	64	4/4			
無	300	20	95	4/4	17	60	3/4	10	63	4/4			
無	200	100	95	1/4	25	59	3/4	8	62	4/4			
無	160	100	91	0/4	38	58	2/4	35	62	3/4			
有	150	100	87	0/4	75	56	2/4	67	60	2/4			
有	130	100	82	0/4	56	52	3/4	74	55	2/4			
有	100	100	74	1/4	67	49	0/4	78	50	1/4			
有	80	100	65	0/4	50	45	2/4	66	43	0/4			
有	50	100	54	0/4	60	41	0/4	72	35	2/4			
有	30	100	41	0/4	73	33	3/4	70	26	2/4			
有	10	100	24	0/4	78	21	0/4	89	14	1/4			

注) いずれも薬剤注入孔は背負い式動カドリルで径10.5mm、深さ25mmの穴をあけた。

約9割で処理間の差は認められなかった。一方、殺菌効果については、薬剤注入部でナラ菌が各試験区とも1ヶ所で検出されたほかは全て検出されず試験区の違いによる差は認められなかった。

また、使用薬剤量も注入孔の深さが50mmでは約2.6mlであったのに対して、深さ25mmでは2/3の約2mlであり、使用薬剤量を減しても殺虫・殺菌効果に違いはなく、環境負荷を若干軽減した結果となった。注入孔にNCSを直接注入する方法による殺虫の機構は、カシノナガキクイムシの孔道に対してドリル穿孔した注入孔が、接触もしくは貫通するため、NCSが気化して発生するMITCガスが複雑な孔道内に即座に行き渡り、効果的に殺虫できるためである⁽⁸⁾。注入孔を50mmの深さとした場合の地上0~50cmの樹幹部における注入孔とカシノナガキクイムシの孔道との接触・貫通個数は、注入孔1孔当たり 2.1 ± 0.1 個(95%信頼幅)であったが⁽⁷⁾、25mmの深さでは 1.6 ± 0.2 個(95%信頼幅)であり、両者間の個数に差があるものの殺虫・殺菌効果には差がなかった。よって、注入孔のドリル穿孔に関しては、カシノナガキクイムシの複雑な孔道が存在する辺材部に適度な深さである25mmの注入孔をあけてNCSを約2ml注入すれば、これまで同様の殺虫・殺菌効果が期待できることが明らかになった。

このことから、注入孔のドリル穿孔作業には背負い式ドリルで25mm穿孔用のドリルの刃を用いれば効率的かつ効果的な殺虫・殺菌が可能であると考える。

2. 注入孔数の減少に関する改良点

注入孔の配置の違いによる殺虫率とナラ菌の検出数について表-3に示した。

処理2週間後の供試木の状況は、10+20cm千鳥区では樹幹から新たな虫屑が発生していなかったが、注入孔数の少ない50cm間隔20cm環状区と25cm間隔15cm環状区では、ともに全ての供試木の樹幹から新たな木屑が多数確認された。殺虫率は、これまで最良の方法である10+20cm千鳥区において、薬剤注入部で完全殺虫でき、単木当りの殺虫率も約9割であった。一方、50cm間隔20cm環状区と25cm間隔15cm環状区では薬剤注入部で50~89%とバラツキがあるうえ完全殺虫できず、単木当りの殺虫率も61%および64%と低かった。これは、虫が樹幹下部に集中して生息するのに対して、注入孔を減少させた2種類の方法では樹幹下部から垂直方向に一定間隔で環状に薬剤注入したため、効果的な殺虫が困難になったものとする。殺菌効果についても、10+20cm千鳥区では薬剤注入部でわずか1ヶ所ナラ菌が検

表-4 従来型と改良型のNCS処理による経費の試算 (胸高断面積1,000cm² 当り/日)

作業用具	発電機+電気ドリル	背負い式動力ドリル
注入孔穿孔方法	注入孔を下部10cm、上部20cm千鳥で穿孔	
注入孔の深さ	50mm	25mm
直接経費		
人件費	@15,400×3人 =46,200円	@15,400×3人 =46,200円
資材費等	18,685	15,056
NCS くん蒸剤	@1,760円×5.2kg=9,152	@1,760円×4.0kg=7,040
薬剤容器	洗浄ビン @300/30日=10	洗浄ビン @300/30日=10
穿孔用ドリル	(@29,000×2個)/30日 =1,933	(@20,000×2個)/30日=1,334
ドリルの刃	(@800×2個)/5日 =320	(@650×2個)/5日 =260
動力源	発電機4サイクルエンジン2Vリース 1,100 コードドラム @4,000/30日=133	背負い式2サイクルエンジンリース(1,500/8h)×2h=375
活性炭入りマスク	@200×3人×2回 =1,200	@200×3人×2回 =1,200
ゴム手袋	@250×1人×2回 =500	@250×1人×2回 =500
布製ガムテープ	@400×10.5巻き= 4,200	@400×10.5巻き =4,200
チェーンソーリース	(@1,090/8h)×1h= 137	(@1,090/8h)×1h =137
諸経費	(46,200+18,685)×0.2=12,977	(46,200+15,056)×0.2=12,252
3人1組1日で	胸高断面積11,094cm ² *で77,862円	胸高断面積14,660cm ² *で73,508円
"	胸高断面積 1,000cm ² *で 7,019円	胸高断面積 1,000cm ² *で 5,015円
試算経費比率	100	71

注) *の胸高断面積は工程調査した各処理5本のデータから算出し、補正した。

出されたほかは全て検出されなかった。これに対して、注入孔数の少ない50cm間隔20cm環状区と25cm間隔15cm環状区では、ともにナラ菌が多数検出され、効果的な殺菌ができなかったものと考えられた。

このことから、カシノナガキクイムシとナラ菌の生息分布に十分適合した注入孔のドリル穿孔は、これまで開発した地上0~50cmは10cm千鳥、50~150cmは20cm千鳥で注入孔をあける方法が最適であることが明らかになった。

3. 実用的な薬剤防除法の経費

表-4に従来型と改良型の薬剤防除法による経費の試算結果、表-5に実用的な薬剤防除法の直径別経費の試算結果を示した。また、表-6には実用的な薬剤防除法に必要な器具と留意点についてまとめた。

これまでの試験結果から、ナラ類集団枯損被害における枯損木の実用的な薬剤防除法は、背負い式ドリルに25mm穿孔用のドリルの刃を装着し、地上0~50cmは10cm千鳥、50~150cmは20cm千鳥で注入孔をあけ、NCSくん蒸剤を直接注入後、ガムテープで被覆する処理法が作業性作業効率の面から最適といえる。

表-5 実用的な薬剤防除法(改良型)の直径別の経費の試算

胸高直径(cm)	1本当りの処理経費(円)
10	394
20	1,575
30	3,543
40	6,299

従来型と改良型の薬剤防除法による経費の比較によれば、改良型は背負い式ドリルの使用により作業効率が格段に向上するうえ注入孔を浅く使用する薬剤量を減少させたことから、従来型より安価になる。胸高断面積1,000cm²当りの経費は、従来型が7,019円であるのに対して、改良型は5,015円と経費面でも約30%改善が見られた。改良型の薬剤処理方法で直径階別に1本当りの処理経費を試算すると、胸高直径10cmは394円、20cmは1,575円、30cmは3,543円となる。なお、これらの経費計算は、地形条件により補正する必要があることに留意する必要がある。

4. 本薬剤防除法の適用範囲

カシノナガキクイムシの穿入木(生存立木)からの新成虫の脱出状況を表-7に、カシノナガキクイムシの穿入木(生存立木)に対するNCS処

表-6 実用的な薬剤防除法で特に必要な器具と留意点

項目	必要な器具	品名	規格	製造者
穿孔用動力	背負い式2サイクルガソリンエンジン	B33M	32.6cc	山田機械工業
穿孔用ドリル	背負い式エンジン附属菌打ち用ドリル	BK		"
ドリルの刃	25mm穿孔用のドリルの刃	コンパネビット	径10.5mm、長さ35mm	大西工業
使用薬剤	NCSくん蒸剤	NCS	カーバム剤50%	ヤシマ産業
薬剤容器	NCSくん蒸剤注入用容器	洗浄ビン	ポリプロピレン製、1リットル用	一般市販

●作業上の留意点

- ① 注入孔は樹幹に対して45度程度の角度で、斜め上からあければ深さ25mmとなり適量(約2ml/孔)を注入できる
- ② 注入孔被覆のためのガムテープは、数日で剥がれる事が多いが、薬剤のガス化が早いので効果に影響はない
- ③ 安全作業のため、活性炭入りマスクとゴム手袋を着用すること
- ④ NCS処理の効果的な時期は、次世代のカシノナガキクイムシが幼虫期である秋季が望ましい。やむをえない場合は、春季の新成虫脱出前までに処理を完了すること
- ⑤ NCS処理の対象は夏季にカシノナガキクイムシの穿入を受け当年秋季に枯損した立木である

表-7 カシノナガキクイムシの穿入木(生存立木)からの新成虫の羽化脱出状況

No.	樹種	調査木				カシノナガキクイムシの新成虫の羽化脱出確認数		
		胸高直径	樹高	秋期の虫クズ	春期の生死	樹幹被覆のネット内	根際	脱出有無
1	ミズナラ	25.0cm	18m	多い	生	なし	9頭	有
2	ミズナラ	14.0	12	多い	生	3頭	4頭	有
3	ミズナラ	10.2	10	多い	生	6頭	5頭	有
4	ミズナラ	17.0	15	少ない	生	なし	5頭	有
5	ミズナラ	16.3	14	少ない	生	なし	なし	無
6	ミズナラ	15.4	14	少ない	生	なし	なし	無
7	ミズナラ	14.1	13	少ない(ヤコ)	生	なし	なし	無
8	ミズナラ	10.5	13	少ない	生	1頭	3頭	有
9	ミズナラ	10.5	10	少ない	生	なし	なし	無
10	コナラ	29.9	17	多い	生	3頭	5頭	有
11	コナラ	24.3	18	多い	生	2頭	4頭	有
12	コナラ	13.1	12	少ない	生	なし	なし	無

新成虫の脱出割合 (12本/7本) × 100 = 58%

表-8 カシノナガキクイムシの穿入木(生存立木)に対するNCS処理の効果と処理木の生死

樹種	胸高直径	注入孔数	薬剤使用量	殺虫効果	処理木の生死
ミズナラ	16.9cm	11列37個	77ml, 2.1ml/孔	注入部完全殺虫・単木で9割殺虫	枯死
コナラ	17.2cm	11列43個	84ml, 1.6ml/孔	"	"
ク リ	22.6cm	11列72個	181ml, 2.5ml/孔	"	"

注) 薬剤処理方法: 1999年9月に背負い式動力ドリルで地上0~50cmは10cm千鳥, 50~150cmは20cm千鳥で25mmの注入孔をあけNCSを注入し、ガムテープ被覆した。

理の効果と処理木の生死を表-8に示した。

穿入木からのカシノナガキクイムシの脱出状況については、12本の供試木中7本から新成虫の羽化脱出が確認され(脱出率58%)、それら7本の樹幹部には新成虫が集中的に脱出する6月末まで、全て新鮮な木屑が確認された。しかし、残りの5本からは観察期間中全く新しい木屑は確認されなかった。このことから、カシノナガキクイム

シが穿入した立木で当年枯死しない立木では約半数から新成虫の羽化脱出がおり、残りの半数の立木では樹幹内で新成虫が死亡してしまうことが示唆された。このように、穿入木はもともとカシノナガキクイムシの生息数が少ないうえ、樹幹内で死亡するカシノナガキクイムシもいることから、穿入木からの新成虫で脱出する絶対数は枯死木と比較すると極めて少ないと考えられる。

穿入木を対象に、開発した方法でミズナラ・コナラ・クリをNCS処理したところ、2週間後各立木の樹幹からは新鮮な木屑は確認されず、割材により殺虫状況を確認したところ、NCS注入部は完全殺虫、立木全体では約9割が殺虫できた。

一方、周辺に生息する対照の無処理の穿入木は生存していたが、NCS処理木は全て枯死した。

これらのことから、穿入木に対するNCS処理の殺虫効果は、枯損木に対するNCS処理と同様に得られるが、殺虫できる新成虫の絶対数が少なく、処理コストがかかるうえ、生存の可能性がある立木まで枯死させることがあるので、本防除法により穿入木を防除対象とする必要性は低いものと判断された。

V お わ り に

ナラ類集団枯損被害における薬剤防除法の改良について検討したところ、枯損立木を対象とした薬剤防除法としては、背負い式ドリルに25mm穿孔用のドリルの刃を装着し、地上0～50cmは10cm千鳥、50～150cmは20cm千鳥で注入孔を穿孔し、NCSくん蒸剤を1孔当たり約2ml直接注入して処理する方法が、即効性のある実用的な方法であることが明らかになった。本防除法は、枯死の原因となるナラ菌を伝播するカシノナガキクイムシの殺虫により密度を低下させ、ナラ菌の分散抑制に効果があるものと考えられる。

また、本防除法は使用器具が多いことから、激害地での大量処理には不向きで、先端地域の防除法として適している。今後は激害地において少ない器具で大量に処理が可能な方法を開発する必要がある。

VI 引 用 文 献

- (1) 阿部豊 (2000) ナラ類枯損立木へのNCS注入によるカシノナガキクイムシとナラ菌の防除. 林業と薬剤151: 1-8.
- (2) 伊藤進一郎・佐野明・奥田清貴・北野信久・秦広志・篠田仁恵 (2000) 太平洋側に発生したナラ・カシ類の枯死被害. 日林学術講111: 302.
- (3) 伊藤進一郎・窪野高德・佐橋憲生・山田利博 (1998) ナラ類集団枯損被害に関連する菌類. 日林誌80 (3): 170-175.
- (4) 伊藤進一郎・山田利博 (1998) ナラ類集団枯損被害の分布と拡大. 日林誌80 (3): 229-232.
- (5) 衣浦晴生 (1994) ナラ類集団枯損とカシノナガキクイムシの生態. 林業と薬剤130: 11-20.
- (6) 中村人史・齊藤正一・三浦直美・三河孝一・小野瀬浩司 (1996) ナラ類集団枯損におけるカシノナガキクイムシの加害特性と防除に関する一考察. 山形県林試研報26: 9~13.
- (7) 齊藤正一・中村人史・三浦直美・小野瀬浩司 (1999) ナラ類集団枯損の薬剤防除法. 森林防疫48. 84-94.
- (8) 齊藤正一・中村人史・三浦直美・小野瀬浩司 (1999) ナラ類集団枯損被害の薬剤防除法. 日林学術講110: 688-689.
- (9) 浦野忠久・藤田和幸・伊藤進一郎・井上重紀 (1994) カシノナガキクイムシのナラ類健全木における穿入密度および捕獲数と枯損発生の関係. 日林論105: 443-444.

短 報

背割りしたスギ丸太の乾燥特性と強度性能

後 藤 徹・高 橋 幹 夫

Drying properties and strength of the heart splitting sugi log

Toru GOTO, Mikio TAKAHASHI

(2000年6月13日受理)

要旨：自然公園や河川敷などの公共空間で天然素材としての丸太の利用が進められていることから、間伐材を丸太の状態を利用した新たな用途拡大が見込まれる。しかし、丸太の乾燥が充分でないと割れなどにより美観を損ない安全性や耐久性の低下が懸念される。そこで、割れの少ない乾燥丸太を生産するために、丸太に背割り加工し、その乾燥特性と曲げ強度性能の影響をみたところ、①背割り丸太は背割り加工しない丸太と比較して、割れの発生が少なく、水分傾斜も小さい傾向がみられる。②背割り加工した乾燥丸太の曲げ強度性能の低下はない。③背割り加工により、割れが少なく曲げ強度性能の低下のない乾燥丸太が得られることが明らかになった。

I ま え が き

本県においてはスギの要間伐林分の手入れが遅れており、この原因の一つとして間伐した材の利用が進まないことがあげられる。これまで、中小径の間伐材の用途としては、主に垂木や貫などの住宅用部材であったが、外材との競合が激しいうえに、住宅工法の変化や住宅着工の伸び悩みなどにより需要が低迷しており、間伐材の新たな用途拡大を図る必要がある。

近年、自然公園や河川敷き等の公共空間において、景観や環境に配慮し、天然素材としての丸太を利用した物づくりが進められていることから、間伐材を丸太の状態を利用した新たな用途開発が見込まれる。

一般に、施設等に構造用として木材を利用する場合、乾燥が十分でないと使用中に割れや狂いなどが発生し美観を損なうだけでなく、継手などの接合部の隙間や変形など構造面からみた安全性や、割れの箇所から腐朽しやすくなり耐久性の低下が懸念される。特に、丸太は製材と比べて乾燥が困難な上に、乾燥にともない割れが多数発生しやすい。

背割り加工した芯持ち柱材は乾燥しやすく割れ

の発生が少ないとの報告から(高橋：1994)、割れの少ない乾燥丸太を生産するため、丸太に背割り加工し、その乾燥特性と曲げ強度性能の影響について検討したので報告する。

II 試 験 方 法

1. 乾燥特性試験

供試材は市場で無作為に選んだ山形県産のスギ中小径丸太(末口径120～200mm、材長4,000mm)で、樹皮を剥いた後、丸太に軸方向に中心近くまで2.5mm幅の鋸目をいれた背割り加工をした丸太(以下、背割り丸太という。)と、背割り加工をしない丸太(以下、対照丸太という。)を用いた。

乾燥には蒸気式乾燥装置(新柴設備製SKIF10LSB、容量2.8m³)を用い、乾燥中は乾燥試験室内のサンプル材の重量変化から乾燥状態を推測した。棧積みは背割り丸太と対照丸太それぞれ2本ないし3本を棧木の上に一列に並べたものを5段に重ね、段と段の間隔は丸太の太さに応じて四隅に置いたコンクリートブロックを積んで調整した。

人工乾燥は、表-1に示した生材から含水率

表-1 供試材の乾燥スケジュール

段階	1	2	3
含水率 (%)	生~100	100~50	50~20
乾球温度 (°C)	60~90	90	95~100
乾湿球温度差 (°C)	3	4~10	11~13
乾燥時間 (Hr)	39~57	47~50	38~89

100%までを第一段階、含水率50%までを第二段階、含水率20%までを第三段階とした当センターで開発した背割り丸太の乾燥スケジュールを基に、丸太の径、材質、産地、伐採時期などの違いによる乾燥の難易を考慮して乾燥時間を調整しながら行った。人工乾燥後に背割り丸太と対照丸太の含水率、水分分布、収縮率、割れ面積を求め両者の特性を比較した。

なお、人工乾燥は6回行い、内4回分の背割りと対照丸太は乾燥特性試験を行ったのち、残り2回分の背割りと対照丸太を合わせて強度性能試験用とした。

2. 強度性能試験

供試材は背割り加工する前にグレーディングマシン（小野測器製GM-1200）を用いて生材時の動的ヤング係数を測定し、動的ヤング係数の分布が同様になるように背割り用と対照用の丸太にあらかじめ割り振りした。強度試験用の背割りと対照丸太は含水率の違いによる強度性能への影響を小さくするため、屋根付きの屋外で2~3ヶ月間自然乾燥して両者の含水率の差を小さくした。

強度試験には10tonのオートグラフ（島津製作所製10-TA）を用い、曲げスパンを2,700mmにとった中央集中荷重方式で、たわみの測定は丸太の側面に鉋を打ち錘を垂らして計測するポテンションメーター式変位計を用いた。荷重面は背割り丸太が背割り面の反対側で対照丸太が任意の面とし、丸太の末口側の支持台に合板を挟んで荷重面を水平にとり、荷重面が荷重方向と直交するようにした。また、三角形の木製ブロックを支点上に配置して試験中丸太の回転が生じないようにした。曲げ破壊後に背割り丸太と対照丸太の曲げ強さ、曲げヤング係数を求め、両者を比較した。

3. 形状の測定項目と方法

1) 含水率

乾燥試験の含水率は人工乾燥前と乾燥後に丸太の元口から300mmの部位で、強度試験の含水率は曲げ破壊試験後に破壊された近くの部位でそれぞれ厚さ20mmの円盤を採取し、全乾法で求めた。また、乾燥試験の円盤の一部は材内の水分分布をみるため、おおよそ幅が均等になるように円盤を7分割して、それぞれの含水率を全乾法で求めた。

2) 収縮率

乾燥前と乾燥後に丸太の元口の芯を通る長径と長径を二等分して直交する短径の長さをデジタルノギス（精度1/100mm）で測定し、両方の径で収縮率の大きい方を採用した。

3) 割れ面積

材面の割れの長さとは最大幅を測定し、長さとは最大幅の積を割れ面積とした。

4) みかけの比重

強度試験後に破壊した材の近くの部位から厚さ50mmの円盤を採取し、円盤の重量を体積で除してみかけの比重を求めた。

5) 背割り幅

丸太の材長の中央位置で、背割り幅をデジタルノギスで測定した。

6) 平均年輪幅

元口における半径の長さを年輪数で除したものを丸太の平均年輪幅とした。

III 結果及び考察

1. 背割り丸太の乾燥特性

背割り丸太と対照丸太の乾燥特性を表-2に示した。

背割り丸太と対照丸太は両者とも生材時含水率が約140%であったが、同じ条件で人工乾燥したところ、乾燥後の含水率の平均値はそれぞれ19.2%と24.7%で、背割り丸太と対照丸太の乾燥後の含水率に差があり、背割り丸太の含水率が低かった。これは背割り丸太が背割り加工により丸太の表面積が大きくなったことと、丸太の内部乾燥が背割りを通して容易になったためと考えられる。

背割り丸太と対照丸太の収縮率の平均値はそれぞれ1.286%と1.535%で、背割り丸太の収縮率が小さい傾向がみられたが、乾燥前と乾燥後の測定位置が変化したため収縮率は参考値としたい。こ

表-2 背割り丸太の乾燥特性

	末口径 (mm)	生材含水率 (%)	乾燥後の 含水率(%)	収縮率 (%)	割れ面積 (cm ²)
背割り丸太	147.5 142.9~152.1	138.7 130.2~147.2	19.2 17.5~21.0	1.286 1.032~1.539	2 0~3
対照丸太	150.6 145.9~155.2	140.1 131.1~149.1	24.7 22.6~26.8	1.535 1.368~1.702	451 346~556

注 1) 上段は平均値、下段は平均値の95%信頼区間
2) 供試数は背割り丸太、対照丸太とも各36本

表-3 背割り丸太の乾燥状況

	割れの発生した 本数割合(%)	含水率25%以上 の本数割合(%)
背割り丸太	22.2 8.6~35.8	13.9 2.6~25.2
対照丸太	100.0 100.0~100.0	38.9 23.0~54.8

注：上段は平均値、下段は平均値の95%信頼区間

これは、乾燥にともない背割りや干割れが広がり、乾燥前に供試材の元口にマークした収縮率測定のための直線が、丸太の芯を境にくの字に曲がったため、今後、丸太の収縮率を正確に測定する方法を検討する必要があると思われる。

背割り丸太と対照丸太の割れ面積はそれぞれ2cm²と451cm²で両者に差があり、背割り丸太が小さかった。背割り丸太は対照丸太と比較して割れの発生面積が小さいといえる。

背割り丸太と対照丸太の乾燥状況を表-3に示した。

背割り丸太と対照丸太の割れの発生した本数割合は、それぞれ22.2%と100.0%で両者に差があり、背割り丸太が小さかった。一般的に、芯持ち材は乾燥による割れが発生しやすいが、背割り丸太は約5本に1本の割合に対して、対照丸太は全数に割れが発生していることから、背割り丸太は割れの発生の防止に効果があるといえる。また、前述のとおり背割り丸太は対照丸太と比較して割れ面積がきわめて小さい結果から、背割り丸太は割れが発生しても小さい割れである傾向がみられる。

丸太の乾燥に関する基準等がないので針葉樹製材の乾燥基準を準用すると、含水率25%以上の未乾燥材の出現本数割合は、背割り丸太と対照丸太がそれぞれ13.9%と38.9%で、背割り丸太は対照丸太と比較して未乾燥材の割合が少ない傾向が

みられる。

背割り丸太と対照丸太それぞれ6本の平均値でみた材内の水分分布を図-1に示した。

対照丸太の含水率は乾燥前に127.0%であったものが乾燥後に21.6%まで低下しているが、乾燥後の材内の水分分布をみると表層部分が約14~17%、中間層部分が約29~31%、中心部分が約50%で表層から中心にかけて含水率が高くなり水分傾斜がみられる。同様に背割り丸太の含水率をみると、乾燥前が141.0%、乾燥後が17.1%、表層部分が約12%~14%、中間層部分が約23~24%、中心部分が約30%で、表層から中心にかけて含水率が高くなり水分傾斜がみられるが、背割り丸太は対照丸太と比べて水分傾斜が小さい傾向がみられた。

背割り丸太は対照丸太と比較して、割れが小さく、割れの発生が少ない。また、含水率25%以上の未乾燥材の割合も少なく、水分傾斜も小さい傾向がみられることから、背割り加工は丸太の乾燥に有効と思われる。

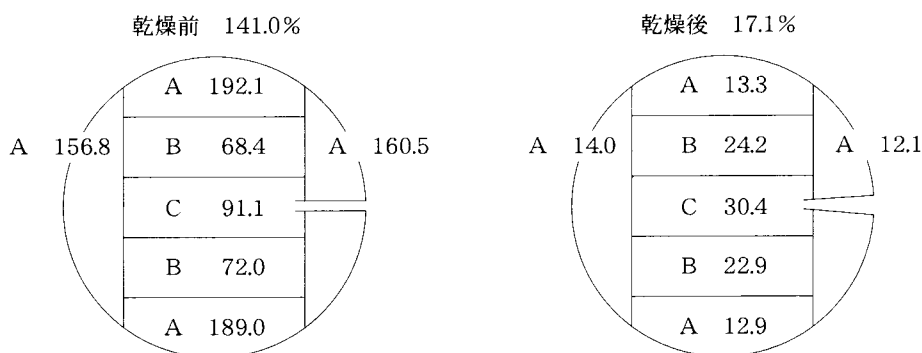
2. 背割り丸太の強度性能

背割り丸太と対照丸太の材質と強度性能を表-4に示した。

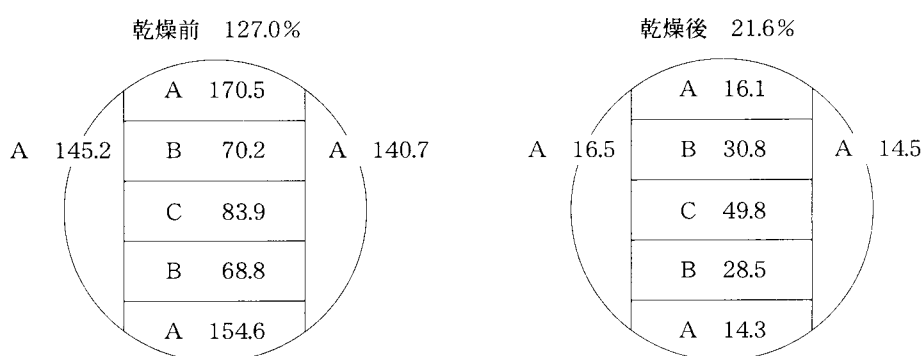
背割り丸太と対照丸太の含水率の平均値はそれぞれ19.1%と20.4%で両者の含水率に差があった。

一般に木材の強度は含水率が低くなると大きくなることが知られており、含水率1%の変化に対して丸太の曲げヤング係数と曲げ強さはそれぞれ0.78%と0.71%に変化したとの報告がある(中井ら：1993)。そこで、背割り丸太と対照丸太の含水率の測定値を全て20%と仮定して、それぞれの曲げヤング係数、曲げ強さを0.78%と0.71%を使って補正したところ、背割り丸太と対照丸太の曲げヤング係数の平均値は、それぞれ7.18GPaと7.15GPaで両者に差がなく、背割り丸太と対照丸

背割り丸太



対照丸太



凡例
A：表層部分
B：中間層部分
C：中心部分

図-1 背割り丸太内の水分分布

表-4 背割り丸太の材質と曲げ強度性能

	含水率 (%)	平均年輪幅 (mm)	見かけの比重	心材率 (%)	曲げヤング係数 (GPa)	曲げ強さ (MPa)
背割り丸太	19.1 18.5~19.6	3.7 3.5~4.0	0.42 0.41~0.44	20.6 18.4~22.9	7.18 6.84~7.53	44.1 42.0~46.2
対照丸太	20.4 19.8~21.1	3.9 3.7~4.1	0.43 0.42~0.44	21.7 19.0~24.4	7.15 6.80~7.50	45.3 43.3~47.3

注 1) 上段は平均値、下段は平均値の95%信頼区間
2) 背割り丸太の曲げヤング係数と曲げ強さは断面欠損がないものとして求めた測定値
3) みかけの比重、曲げヤング係数、曲げ強さは含水率20%に調整した場合の補正值
4) 供試数は背割り丸太が53本、対照丸太が52本

太の曲げ強さの平均値は、それぞれ44.1MPaと45.3MPaで両者に差がなかったことから、背割り加工した乾燥丸太の曲げ強度性能の低下はみられなかった。

製材において、曲げヤング係数は背割り材と無背割り材に差がないものの、曲げ強さは背割り材が無背割り材と比べて小さく、曲げ強さの低下割合は平均値で8.4%であったとの報告がある(高

橋：1994)。背割り丸太は製材における背割り材と同様に曲げヤング係数の低下がみられないが、製材における背割り材の曲げ強さが低下したのと異なり、背割り丸太の曲げ強さは低下がみられない。背割り丸太と製材における丸太の曲げ強さの違いの原因として、背割り面における修正挽きの違いによると考えた。製材における背割り材は乾燥して広がった背割り部分に相当する背割り面の

変形を修正挽きするため、広がった背割り部分は断面欠損となり曲げ強さが低下する。一方、背割り丸太も乾燥して広がった背割り部分は断面欠損とみられるが、修正挽きをしていないため木材の実質は変わっていないことから、背割りによる断面欠損の影響が小さく、曲げ強さが低下しなかったものと考えた。

背割り丸太と対照丸太の曲げ強度性能に差がないことから、背割り加工した乾燥丸太の曲げ強度性能の低下はないといえる。

IV あとがき

丸太の乾燥法として背割り加工が丸太の乾燥に有効なこと、背割り加工した乾燥丸太の曲げ強度性能の低下はないことを明らかにした。

今後、背割り丸太を構造部材として利用していくには、人工乾燥後の含水率と背割り幅や丸太の

形状の経時変化の関係を明らかにし、利用上支障とならない背割り丸太の適正な仕上げ含水率を求める必要がある。さらに、適正な仕上げ含水率の背割り丸太を低コストに生産するための乾燥スケジュールの検討をする必要がある。また、背割り丸太どうしあるいは背割り丸太と他の部材との継手や仕口の加工法の検討と、その接合部分の強度性能について明らかにする必要がある。

V 引用文献

中井孝、長尾博文、田中俊成（1993）スギ中目材 丸太・たいこ材の実大曲げ強度性能、日本建築学会大会学術講演梗概集、909～910.

高橋幹夫（1994）スギ構造材の乾燥方法（I）、背割り材の乾燥特性と強度性能、山形県林業試験場研究報告24、1～5.

資料

ナラ菌の接種によるミズナラの枯損

三河孝一・三浦直美・齊藤正一
小野瀬浩司・中村人史

Death of *Quercus crispula* BLUME. by inoculation of unknown fungus

Kōichi MIKAWA, Naomi MIURA
Shōichi SAITO, Kōji ONOSE, Hitoshi NAKAMURA

(2000年6月13日受理)

要旨：ナラ類が集団枯損している朝日村間門の被害林の枯損木から分離した未同定菌（以下ナラ菌）をミズナラ健全木に接種した結果、接種木はナラ類の集団枯損と同様の症状を呈し、また接種木からナラ菌が広範囲に優占的に分離されるなど、KOCHの四原則を満足させ、ナラ菌の病原性が明らかになった。

I はじめに

近年、カシノナガキクイムシに穿孔された広葉樹の集団枯損が本州日本海側や九州南部にみられる。1941年に熊本営林局が宮崎県、鹿児島県でのカシ類の集団枯損を初めて報告⁽⁴⁾して以来、1953年～1959年の「森林防疫ニュース」で兵庫県、鹿児島県のカシ類、山形県のナラ類の被害が報告されている。これらの報告は枯損の原因をカシノナガキクイムシによるものとしているだけである。

一方、1990年以降カシノナガキクイムシに関連した報告が十数件に及んだが、その中で1993年に伊藤ら⁽²⁾はカシノナガキクイムシの加害のみでナラ類が枯損とするには疑問が残るとし、枯損木から分離されるナラ菌（当初 *Phialophora* sp.、後ポロ型分生子を持つ未同定菌、仮称ナラ菌）がナラ類の枯損被害に密接に関係することを始めて示唆した。1996年に黒田ら⁽⁵⁾は、カシノナガキクイムシの穿孔をうけたコナラとミズナラでは、孔道周辺の大径道管からは菌糸の分布が認められるうえ、樹液の上昇が著しく阻害されており、菌に病原性を示唆する報告をしている。

しかし、これらの報告では菌の病原性は明らか

ではないため、筆者らは伊藤らの報告と同様にナラ類の枯損にはナラ菌が関与するものと考え、ミズナラの枯損木から分離した⁽⁶⁾ナラ菌をミズナラ健全木へ接種した結果、その病原性が確認されたので報告する。

報告にあたり供試木からの分離菌を同定していただいた森林総合研究所東北支所樹病研究室窪野高徳室長に厚くお礼申し上げます。

II 材料と方法

1. 接種試験

試験地は、ナラ類の集団枯損被害が発生していない、山形県西川町沼山の山形県立林業試験場（現山形県森林研究研修センター）試験実習林内とし、ミズナラ健全木を対象に接種試験を実施した。試験地は、樹齢約40年、平均胸高直径20.7cm、平均樹高14.1mのミズナラ林である。

1995年7月5日にナラ菌の接種区と無接種区を設定した。供試木はミズナラ健全木各5本とし、接種区の供試木には、接種孔穿孔後ナラ菌の接種を行ない、無接種区の供試木は穿孔のみとした。無接種区にも穿孔したのは、穿孔のみによる枯損の有無を確認するためである。

接種孔は接種位置で樹幹断面の全面にかつ量的

に十分なナラ菌を接種するために、樹幹約1mの高さに上下が重ならないように環状の3列の穴(径8mm、深さ5cm)をあけた。

本接種試験に使用したナラ菌は、ナラ類が集団枯損している朝日村間門の被害林の枯損木から1995年4月24日にポテトデキストロース寒天培地(日水製薬株式会社、以下PDA培地)に分離したものを原菌とし、ブナオガコとフスマの混合培地に培養して使用した。この培地をきのこ菌床栽培用のポリプロピレンの袋に詰め込み、口にフィルター付きのキャップをした後に121℃で60分間殺菌した。培地が冷却した後原菌を接種し、25℃で18日間培養した。接種区では接種孔にこの培養したナラ菌を接種した。

2. 供試木の樹冠の枯葉調査

ナラ菌の接種後は供試木の樹冠の葉を観察し、紅葉前に樹冠の全部の葉が枯れた供試木(以下枯葉木)についてその本数を数えた。観察は接種した1995年7月5日から紅葉直前の1995年10月11日まで行なった。

3. 枯葉木の水分状態の観察

紅葉前に樹冠の全部の葉が枯れた接種区の枯葉木は伐採して含水率を調査するとともに切断面での水分状態を肉眼で観察した。比較対照として、朝日村間門のナラ類の集団枯損地のミズナラ枯損木と接種試験地周辺の健全なミズナラ生立木を各1本(以下前者を被害地枯損木、後者を無被害地健全木)伐採して同様の調査と観察を行なった。両供試木の樹齢は40年、胸高直径は18.5cmと12.2cm、樹高は12mと8mである。含水率は伐採後地上高別に高さ40cm、400cm、700cm、1000cmの部位から厚さ約5cmの円板を採取し、円板の生重と105℃で10日間乾燥後の重量を測定し絶乾基準で算出した。

4. 供試木の辺材部からの菌の分離調査

樹冠の枯葉調査期間中に、樹冠の全部の葉が枯れた接種区の枯葉木2本について辺材部から菌を分離した。また調査終了時に、樹冠の葉に変化がなかった接種区の供試木および無接種区の供試木各1本(以下前者を接種区健全木、後者を無接種区健全木)についても同様に菌の分離を試みた。

接種区、無接種区とも接種孔の位置を中心とし、

地上高別に10cm間隔に厚さ約5cmの円板を採取し、円盤の中心から放射状に12等分した辺材部から約5mm角の切片を各1個採集し、円板1枚につき合計12個を供試片とした。これら供試片は0.25%次亜塩素酸ナトリウム液に5分間浸漬後、洗浄して水分を取除いた後に直径約9cmのシャーレのPDA培地上に置き、25℃の恒温器で培養した。菌の分離期間は培養から30日間とし、供試片から伸長した菌糸はその都度分離し同定した。

III 結果と考察

1. 供試木の樹冠の枯葉調査

供試木の樹冠の葉を観察した結果、1995年8月11日に樹冠の全部の葉が枯れた枯葉木(以下接種区枯葉木A)が接種区で1本みられた。さらに1995年9月12日に樹冠の全部の葉が枯れた枯葉木(以下接種区枯葉木B)が接種区で1本みられた。これら接種区枯葉木Aと接種区枯葉木Bの樹冠の枯葉症状は外見上ナラ類の集団枯損での枯損木と同様の症状であった。その後は調査終了日の1995年10月11日までに葉が枯れるものはなかったが、無接種区の供試木は5本とも健全な状態であったことから、接種区枯葉木Aと接種区枯葉木Bの樹冠の枯葉症状はナラ菌の接種によるものと考えられた(表-1)。

2. 枯葉木の水分状態

接種区枯葉木Aと接種区枯葉木Bおよび被害地枯損木と無被害地健全木の含水率と切断面での水分状態を表-2に示した。矢沢⁽⁸⁾はミズナラの含水率について、平均値で辺材部が78.3%、心材部が70.6%と報告している。筆者らが今回調査したのは心材と辺材を含んだ円板の含水率であるが、これら4本の供試木は、地上高40cmでは70.0~76.4%で矢沢の報告⁽⁸⁾と近い値を示した。

表-1 ナラ菌の接種による樹冠の枯葉調査

処理区	供試木	枯葉木	健全木
接種	5本	2本	3本
無接種	5本	0本	5本

注) 供試木: 山形県西川町沼山のミズナラ健全木。
接種: 1995年7月5日にナラ菌を接種した。
枯葉木: 1995年7月5日から1995年10月11日の間に樹冠の全部の葉が枯れた木。

表-2 枯葉木、枯損木、健全木の含水率と切断面の水分状態

供試木	胸高直径	樹高	枯葉の確認日	伐採採取日	地上高40cm		地上高400cm		地上高700cm		地上高1,000cm	
					含水率	水分	含水率	水分	含水率	水分	含水率	水分
接種区枯葉木A	20.0cm	15m	1995年8月11日	1995年8月31日	76.4%	有	54.2%	無	53.3%	無	52.5%	無
〃 枯葉木B	18.3	12	1995年9月12日	1995年9月14日	74.8	有	57.1	無	56.9	無	59.8	無
被害地枯損木	12.2	9	1994年8月12日	1995年9月16日	72.6	有	48.9	無	49.2	無	-	-
無被害地健全木	12.6	9	-	1995年9月16日	70.0	有	67.8	有	64.4	有	-	-

注) 接種区枯葉木A、B：表-1のミズナラ枯葉木2本をそれぞれA、Bとした。
被害地枯損木：山形県朝日村間門のナラ類集団枯損のミズナラ枯損木。
無被害地健全木：山形県西川町沼山のミズナラ健全木。
水分：切断面の水分状態を肉眼で観察した。

また無被害地健全木では地上高400cm以上でも含水率は64.4~67.8%と若干低いが大きな相違はなかった。これに比べて接種区枯葉木A、接種区枯葉木Bの地上高400cm以上での含水率はそれぞれ52.5~54.2%、56.9~59.8%と無被害地健全木より低く、被害地枯損木では48.2~49.2%とさらに低かった。なお、接種区枯葉木A、接種区枯葉木Bの含水率の違いは樹冠の枯葉から含水率の調査までの日数の違いと考えられ、時間の経過とともに被害地枯損木の含水率に近くなるものと考えられる。

切断面での水分状態は地上部40cmの接種部以下では接種区枯葉木A、接種区枯葉木Bとも無被害地健全木と同様に、溢泌現象ほどではないが水が滲み出た。しかし、地上高400cm以上の接種部の上部では、水の滲み出しがないうえ、手に触れても水分の感触はなく、被害地枯損木と同様水分の移動が行なわれていないと考えられた(表-2)。

黒田ら⁽⁵⁾は、葉が萎凋した立木について、樹液上昇停止は辺材の通水経路が極度に減少するために、樹幹上部が乾燥して葉が萎凋した後も地際部で含水率が高いことを報告しており、本調査の結果と一致する。

このように樹冠の全部の葉が枯れることや含水率低下および水分の移動がみられないことなど、外見上だけでなく樹幹の内部調査からもナラ類の集団枯損の枯損木と同様の症状が観察されたことから接種区枯葉木A、接種区枯葉木Bの接種部以上の樹幹はナラ菌の接種により枯損したとみなせる。

3. 供試木の辺材部からの菌の分離

ナラ菌の接種によりナラ類集団枯損の枯損木の症状が再現されたが、これらの症状の枯葉木の材からナラ菌が分離されなければその病原性は問え

ない。そこで、接種区枯葉木Aと接種区枯葉木Bの樹幹の辺材部から菌の分離を行ない、ナラ菌の有無を調査した。

菌の種類としては、接種区枯葉木A・Bから共通に分離されたのはナラ菌、*Penicillium sp.*、*Trichoderma sp.*、*Verticillium sp.*、*Cladosporium sp.*や不明な糸状菌(胞子形成がないため同定不能、以下不明菌)であった。その他に接種区枯葉木Aからは*Endothiealla sp.*が分離された。また、接種区健全木からはナラ菌、*Penicillium sp.*、*Trichoderma sp.*、不明菌が分離された。無接種区健全木からは、*Penicillium sp.*、*Trichoderma sp.*、*Endothiealla sp.*、*Cladosporium sp.*、*Graphium sp.*、不明菌が分離されたが、ナラ菌は分離されなかった。この結果、ナラ菌の接種木からナラ菌が分離されその定着が確認された。

表-3にこれら分離菌のうち1枚の円板の12個の供試片に3個以上発現したナラ菌、*Trichoderma sp.*、*Graphium sp.*について地上高別に示した。表ではこれら以外の糸状菌はその他とし、供試片から糸状菌の伸長のないものを未検出とした。この表から接種区枯葉木Aと接種区枯葉木Bでは、ナラ菌が広範囲に分離され、定着とともに樹体内に広く伝播していることが明らかとなった。特にこの菌は樹体内の上の方向への伝播が特徴で、接種区枯葉木では接種部から下部への広がり約10~20cmであるのに対し、上部への広がり110~120cm以上であり、樹体の水の流れの向きとの関連も伺える。なお、接種部からは*Trichoderma sp.*が顕著に分離されたが、ナラ菌のような垂直的な広がりはなく、ナラ類の集団枯損をおこす原因とは考えられない。このようにナラ菌を接種した接種区枯葉木からナラ菌が広範囲にかつ優占的に分離された。

以上の結果とこれまでの調査結果⁽⁶⁾から、①

表-3 供試木からの菌の分離

単位：個

地上高 (cm)	接 種 区					無 接 種 区														
	枯 葉 木 A		枯 葉 木 B			健 全 木														
	ナラ菌	Tr*	Gr**	その他	未検出	ナラ菌	Tr*	Gr**	その他	未検出	ナラ菌	Tr*	Gr**	その他	未検出					
250~255						0	0	0	0	12										
240~245						0	0	0	2	10										
230~235						0	0	0	1	11										
220~225						1	0	0	2	9										
210~215						0	1	0	3	8	0	0	0	0	12					
200~205	6(1)	0	0	2(1)	5	1	0	0	1	10	0	0	0	0	12					
190~195	7(1)	1	0	3(1)	2	0	0	0	0	12	0	0	0	0	12					
180~185	10	1	0	0	1	2	0	0	0	10	0	0	0	0	12					
170~175	9	2(1)	0	2(1)	0	4	0	0	0	8	0	0	0	0	12					
160~165	10	0	0	2	0	7	1	0	1	3	0	0	0	1	11					
150~155	-	-	-	-	-	5	0	0	0	7	0	0	0	2	10					
140~145	-	-	-	-	-	8	0	0	0	4	0	0	0	0	12	0	0	0	1	11
130~135	12	0	0	0	0	12(1)	1(1)	0	0	0	5	0	0	0	7	0	1	0	1	10
120~125	12(1)	1(1)	0	0	0	12	0	0	0	0	9	2	0	1	0	0	1	0	2	9
110~115	12(1)	0	0	1(1)	0	6(1)	6	0	1(1)	0	0	12	0	0	0	0	0	1	1	10
100~105	2	9	0	1	0	0	12	0	0	0	5	4	0	0	*3	0	0	10	2	0
90~95	0	12	0	0	0	0	8	0	0	*3	2	0	0	2	8	0	0	9	2	1
80~85	0	12	0	0	0	11	1	0	0	0	1	0	0	1	10	0	0	1	0	11
70~75	10	1	0	0	1	0	3	0	0	9	0	0	0	1	11	0	1	0	0	11
60~65	2(1)	3(1)	0	1	7	0	0	0	0	12	0	0	0	0	12	0	0	0	2	10
50~55	0	1	0	0	11	0	1	0	0	11										
40~45	-	-	-	-	-															
30~35	0	1	0	2	9															

注) 分離片：各地上高とも円板の辺材部12個。

Tr* : *Trichoderma* sp. Gr** : *Graphium* sp.

その他：ナラ菌、*Trichoderma* sp.、*Graphium* sp. 以外の分離菌。未検出：菌類が分離されなかった数。

*数値：センチュウが繁殖したものを。□：接種部または穿孔部。()：2種類の菌類の分離数。

集団枯損木から広範囲にナラ菌が分離されること、②ナラ菌がPDA培地に培養保存できること、③ナラ菌接種によりナラ類の集団枯損の枯損木と同様に葉が枯れる症状がおこること、④ナラ菌を接種し樹冠の全部の葉が枯れた枯葉木からナラ菌が広範囲に優占的に分離されることが明らかとなった。これらはKOCHの四原則⁽¹⁾を満足させるもので、ナラ菌がナラ類の枯損の原因であることが明らかとなった。ナラ菌の接種試験は1993年に伊藤ら⁽³⁾と山岡ら⁽⁷⁾が行なったがいずれも枯損せず、本試験により、はじめてナラ菌の接種によるミズナラの枯損が確認されたことになる。

IV おわりに

カシノナガキクイムシに穿孔されたナラ類の集

団枯損は枯損木から広範囲に分離されるナラ菌が関与するものと考え、ミズナラ健全木へのナラ菌の接種を行なった。その結果、接種木に枯損がみられるとともにナラ菌が分離され、その病原性が明らかとなった。今後はナラ菌の感染経路を明らかにする必要がある。

V 引用文献

- (1) 伊藤一雄 (1960) 樹病学概論. 2
- (2) 伊藤進一郎ほか (1993) ナラ類枯損被害に関する菌類. 平成4年度森林総研関西支所年報. 25
- (3) 伊藤進一郎ほか (1993) ナラ類集団枯損における枯損機能の解明-枯損被害に関連する菌類とその病原性. 第104回日林大論要旨集.

- (4) 熊本営林局 (1941) カシ類のシロスジカ
ミキリ及カシノナガキクイムシの予防駆除試験
の概要. 熊本営林局. 1~15
- (5) 黒田慶子ら (1996) ナラ類の集団枯損に
みられる辺材の変色と通水機能の低下. 日林誌
78. 84~88
- (6) 三河孝一ら (1995) 山形県におけるナラ
類の集団枯損について (I) — 被害木の地上
高別菌の分離. 日本東北支誌. 47: 79~80
- (7) 山岡裕一ら (1993) カシノナガキクイム
シが侵入したミズナラからの菌の分離と接種試
験. 第104回日林大論要旨集. 216
- (8) 矢沢亀吉 (1960) 広葉樹とくにブナ立木
の季節別ならびに辺・心材別の生材含水率. 木
材会誌. 6, 4: 170~175