

# 森林防疫

FOREST PESTS

— 森の生物と被害 —



目次

論文

国産マツと外国産マツに形成されたマツバナタマバエの虫えいの形態的、  
化学的特性と幼虫の発育  
[曾根晃一・内門貴浩・畠中友浩] . . . . . 3

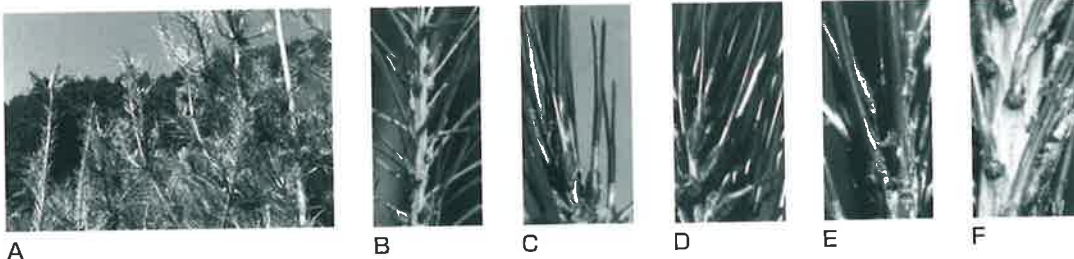
稗伐採と塩素酸ナトリウム・クロレートS全面土壌散布の組み合わせによる  
放置竹林の効率的駆除  
[江上 浩・久本洋子・鈴木重雄・高橋幸貴・須藤智博・虻川勝宜] . . . . . 11

九州山地で大発生したブナハバチ*Fagineura crenativora*によるブナの  
被害実態  
[後藤秀章・上田明良・阿南一義・桑原英隆・藤川晃久・川野博之・小中原真] . . . . . 23

新刊紹介

木質昆虫学序説  
[牧野俊一] . . . . . 31

森林病虫獣害発生情報：平成29年7月・8月受理分 . . . . . 32



[表紙写真] マツバナタマバエの虫えい

マツバナタマバエは (*Thecodiplosis japonensis*) は、多くの場合、幼虫がマツ属の当年生新葉の基部に虫えいを形成する。虫えいが形成された針葉は、成長が止まるだけでなく、展開した年の秋には枯れてしまう。そのため、激しく加害された樹木個体は成長が悪くなり、著しい場合には枯死する(写真A)。本種は、日本と朝鮮半島に分布し、そこに生育するアカマツ (*Pinus densiflora*) やクロマツ (*P. thunbergii*) を加害してきたが、京都大学農学部附属演習林上賀茂試験地(現京都大学フィールド科学教育研究センター上賀茂試験地)内に植栽された、本種の分布域以外の場所に生育するマツ属 *Sylvestres* 亜節に属する台湾アカマツ (*P. massoniana*, 写真B)、ニイタカアカマツ (*P. taiwanensis*, 写真C)、ウナンマツ (*P. yunnanensis*)、マンシュウクロマツ (*P. tabulaeformis*, 写真D)、ヨーロッパクロマツ (*P. nigra*, 写真E) などでも虫えい形成が確認された。これらのマツに形成された虫えいは、アカマツやクロマツ(写真F)に形成されたものに比べ、膨らみが大きく、よく目立ち、サイズも大きかった(本文3~10ページ参照)。

(森鹿児島大学農学部 曾根晃一)

## 論文

# 国産マツと外国産マツに形成されたマツバナタマバエの虫えいの形態的、化学的特性と幼虫の発育

曾根晃<sup>1</sup>・内門貴浩<sup>2</sup>・畠中友浩<sup>3</sup>

## 1. はじめに

ハエ目タマバエ科に属するマツバナタマバエ (*Thecodiplosis japonensis*) は、森林病害虫等防除法で法定害虫に指定されているマツの害虫で、日本と朝鮮半島に生息している (倉永 1994)。佐々木 (1901) は、本種をヨーロッパでマツの針葉に虫えいを形成するタマバエ *T. brachyntera* と同種としたが、Uchida and Inouye (1955) は、幼虫の形態に差があることから、ヨーロッパの種とは別種として、*T. japonensis* と命名した。本種の幼虫は、当年生針葉の基部に二本の針葉を癒合させて虫えいを形成し、内部の組織を摂食する。その結果、虫えいが形成された針葉 (以下 虫えい形成針葉) は、その成長が阻害されるだけでなく、針葉が展開した年の秋に落葉してしまう。そして、数年にわたり激しく加害され続けた場合、樹高、直径、そして材積成長の減少を引き起こす (Sone 1986)。また、被害は第 I 枝階の新梢主軸で最も激しく (曾根 1985)、第 I 枝階の新梢の枯死や次年度の分枝の悪化に伴う樹形の変形をもたらす (Sone 1986)。近年本種による激しい被害は報告されていないが、かつては、九州、本州、そして朝鮮半島で、著しい場合は数万ヘクタールに及ぶアカマツやクロマツ林で激害の発生が報告された (高木 1929, 三浦 1962, 中根 1969, Office of Forestry of Korea 1981)。

一般に虫えいは、葉、芽、茎、枝、蕾など様々な部位に形成されるが、虫えい形成は細胞の分裂や成長が盛んな比較的短い期間に限られる。また、虫えい形成に伴い寄主植物は様々な抵抗反応を示す (Fernandes *et al.* 2000)。これらのことが原因で、各々の虫えい形成昆虫がアタックできる寄主植物は限定的で、寄主特異性がみられる。我が国に生息し

ていた虫えい形成昆虫が、1850年代以降我が国に帰化した植物に新たに虫えいを形成した事例は極めて少ない (Yukawa and Uechi 1999)。本種でも寄主特異性は認められ、古野・曾根 (1978) は、京都大学農学部附属演習林上賀茂試験地 (現京都大学フィールド科学教育研究センター上賀茂試験地、以下上賀茂試験地) に植栽された外国産の22種のマツ (クロマツとのF1雑種を含む) で本種の虫えい形成を確認したが、これらはいずれも Critchfield and Little (1966) の分類ではマツ属の *Sylvestres* 亜節に属するものであった。しかしながら、これらのマツ類の針葉に形成された虫えいのサイズには種間で差がみられ、国産のマツより外国産のマツに形成された方が大きい傾向が認められている (古野 1987)。このことは、寄主植物間で本種による虫えい形成に対する反応に差がみられることを示唆している。

虫えいが形成される過程で、植物の栄養や代謝物が虫えい内の組織に蓄積され、虫えい形成昆虫にとっての栄養条件は改善される (Price *et al.* 1987, 大園 2001, Stone and Schönrogge 2003, Triyago and Yasuda 2013)。もし、本種の幼虫の虫えい形成活動に反応して、より大きい虫えいが形成され、その内部の栄養状態が改善されるならば、そこに生息する幼虫はより大きく成長することが予想される。そこで、(1)外国産のマツと国産のアカマツやクロマツの針葉に形成された虫えいの間に、本種の幼虫にとって資源としての価値に差があるのか、(2)そして、そのことが幼虫の成長にどのように影響しているのか、を明らかにするために、上賀茂試験地に植栽された国産、外国産のマツに形成された本種の虫えいを採取し、虫えいのサイズとその中に生息する終齢幼虫の体長を測定した。さらに、健全針葉と虫えい内の

Morphological and chemical traits of galls formed on domestic and alien pine species and larval development of the pine needle gall midge, *Thecodiplosis japonensis* Uchida *et* Inouye (Diptera: Cecidomyiidae).

<sup>1</sup> SONE, Koichi, 鹿児島大学農学部森林保護学研究室；<sup>2</sup> UCHIKADO, Takahiro, 鹿児島大学農学部森林保護学研究室；

<sup>3</sup> HATANAKA, Tomohiro, 鹿児島大学農学部森林保護学研究室

組織のサイズや健全針葉と虫えい形成針葉の炭素と窒素の含有率を測定した。これらの結果をもとに、本種の虫えい形成作用に対する寄主植物の形態的、化学的応答を樹種間で比較し、それらが本種の幼虫の成長に与える影響について検討した。

## 2. 調査方法

### (1) 虫えいサイズ、終齢幼虫の体長（幼虫サイズ）の測定

近畿地方では、本種の幼虫は、9月と10月半ばに脱皮し、終齢に達する。そして、終齢幼虫は、主に11月中旬から1月にかけて降雨の後に虫えいから脱出し、リターの下で繭を作り、その中で越冬する（曾根 1980）。そこで、虫えいサイズ、虫えい内幼虫数と幼虫サイズを調査するために、1996年10月下旬に、京都市北区にある上賀茂試験地に植栽されていたクロマツ (*P. thunbergii*, 以下 クロ)、アカマツ (*P. densiflora*, 以下 アカ)、リュウキュウマツ (*P. luchuensis*, 以下 リュウキュウ)、タイワンアカマツ (*P. massoniana*, 以下 マツソ)、ニイタカアカマツ (*P. taiwanensis*, 以下 タイワン)、ウンナンマツ (*P. yunnanensis*, 以下 ユンナン)、マンシュウクロマツ (*P. tabulaeformis*, 以下 タブラエ)、ヨーロッパクロマツ (*P. nigra*, 以下 ニグラ) の8種のマツで虫えいを採取した。各樹種で2~3個体から、虫えい形成針葉がみられた当年生新梢を4~5本採取した。針葉基部に形成された虫えいをランダムに選び、虫えいの中央部の針葉の癒合部位間（縦）とそれに直角方向（横）の長さで虫えいの高さを、デジタルノギスを用いて測定した。虫えいは紡錘形に近い形をしているので、今回は便宜的に、虫えいの縦、横、高さの測定値の積を虫えいサイズの指数とした。サイズを測定した虫えいを直ちに解剖し、虫えい内の終齢幼虫を計数し、その体長を実体顕微鏡下で、接眼マイクロメーターを用いて0.025mm単位で測定した。

(2) 虫えいと健全針葉内の各組織のサイズおよび虫えい形成針葉と健全針葉の炭素と窒素の含有率  
本種の幼虫は6月から虫えいを形成するが、1齢の間は、ほとんど虫えい内の組織を摂食しない。9

月に脱皮して2齢になると、虫えい内の組織の摂食が激しくなり、10月半ばには3齢幼虫によりほとんど全て摂食されている（曾根 1980）。そのため、虫えい内の組織のサイズや虫えい形成針葉の炭素や窒素の含有率を測定するためには、虫えい内の組織がほとんど摂食されていない、形成直後の虫えいをサンプリングする必要がある。そこで、1998年8月上旬に上賀茂試験地の苗畑に植栽されていた上記の8種類のマツのうち、サンプル時に虫えい形成針葉が発見できなかったユンナンとニグラを除く、クロ、アカ、リュウキュウ、マツソ、タイワン、タブラエの6種のマツの虫えい形成針葉がみられた新梢を採取した。

それぞれの新梢から採取した虫えいを実体顕微鏡下で解剖し、虫えい内に生息していた1齢幼虫を全て取り除いた後、送風乾燥機で70℃、72時間乾燥した。健全針葉も同様に、送風乾燥機で70℃、72時間乾燥した。その後、乾燥した針葉をウイレーミル（粉砕器タイプB, No.40-525, 池本理化, 東京）で粉砕した。幼虫が摂食しない針葉の表皮を除いた部分の栄養状態を評価するため、0.5mmメッシュのふるいを通した粉末のみを回収し、鹿児島県林業試験場（現鹿児島県森林技術総合センター）にあるNC-Analyzer (NC-90A, Shimadzu) を用いて、炭素と窒素の含有率を測定した。なお、針葉の表皮は、原形を留めた状態でふるいの上に残っていた。

炭素と窒素の含有率を測定するためにサンプルした健全針葉と虫えい形成針葉の一部を、それぞれの組織のサイズを測定するまでの間、30%アルコールに漬けた状態で、5℃全暗下で保存した。アルコール保存された針葉をランダムに選び出し、虫えいの中心部とそれに対応する健全針葉の部位の横断面のプレパラートを作成し、実体顕微鏡下で断面を撮影した。その後、写真から、外皮厚、維管束の大きさ（縦と横の最大値）、柔細胞の大きさ（縦と横の最大値）をデジタルノギスで計測した。針葉と虫えいは同一種では同じ倍率で撮影したが、虫えいサイズにマツの樹種間で差がみられたので、樹種間では撮影倍率は異なった。今回は、種ごとに健全針葉と虫え

い間で値を比較したので、外皮厚は測定値を、維管束と柔細胞の縦と横の2方向の最大値の積をそれぞれのサイズの指数とした。健全針葉と虫えいの外皮厚と維管束のサイズは、それぞれの樹種で10本ずつ、柔細胞のサイズは、それぞれの針葉につき大きい順に5つ測定した。

(3) データ解析

幼虫サイズと柔細胞のサイズについては、虫えいごとに平均値を計算し、それぞれの樹種ごとに、外皮厚、維管束のサイズ、柔細胞のサイズを健全針葉と虫えい間でt-検定を用いて比較した。虫えいサイズと幼虫サイズを、クロとアカとその他のマツでそれぞれ比較した。本種の幼虫は1個体から最大27個体が一つの虫えい内に生息し(曾根 1986)、虫えいサイズや幼虫サイズは、虫えい内生息する幼虫数(以下 虫えい内幼虫数)とともに変化する(古野 1987, Sone 1983, 1995)。今回の調査においても、虫えい内幼虫数との間に、虫えいサイズの平均値は8種中6種のマツで有意な正の相関が、幼虫サイズの平均値は2種のマツで有意な負の相関がみられた(表-1)。そこで、虫えいサイズや幼虫サイズの比較はt-検定を用いて虫えい内幼虫数ごとで行った。その際、両種または一方の種のサンプル数が1の場合は、種間の比較を行えなかった。

表-1 虫えい内生息数と平均虫えいサイズ、終齢幼虫の平均体長の間の相関係数

樹種	相関係数		N
	虫えいサイズ	幼虫の体長	
アカ	0.472	-0.251	6
クロ	0.944***	-0.679*	10
リュウキュウ	0.944***	-0.620 <sup>MS</sup>	10
タイワン	0.917***	-0.396	9
マツソ	0.979***	-0.370	8
タブラエ	0.922***	-0.869*	7
ユンナン	0.467	0.358	4
ニグラ	0.899**	-0.540	5

\*\*\*: 0.1%レベルで有意, \*\*: 1%レベルで有意,  
\*: 5%レベルで有意, <sup>MS</sup>: 10%レベルで有意

3. 結果

(1) 虫えいサイズ

表-2に、上記の8種のマツに形成された虫えいの平均サイズを示す。クロと比較した場合、虫えいサイズは、幼虫数が1の場合はマツソとの間に有意差はなかった。幼虫数が2の場合、リュウキュウ、タイワン、マツソ、ニグラの方がクロより大きく、タイワン、マツソ、ニグラとクロの間の差は有意であった。幼虫数が3以上の場合、クロの虫えいサイズは、データが得られた全ての場合で他のマツより小さく、統計処理できた全ての場合の差は有意であった。アカとの比較では、クロとの比較の場合と同様に、幼虫数が1と2以外の場合は、全てのケースでアカの虫えいサイズの方が小さく、リュウキュウでは幼虫数が3~6、タイワンでは幼虫数が3、マツソでは幼虫数が3~5、タブラエでは幼虫数が6の時、アカとの差は有意であった。

(2) 虫えい内と健全針葉内の各組織のサイズ

表-3, -4, -5に、それぞれクロ、リュウキュウ、タイワン、マツソ、タブラエ、ニグラの健全針葉と虫えいの外皮厚、維管束のサイズ、そして柔細胞のサイズを示す。クロとリュウキュウの外皮厚は、健全針葉と虫えいとの間に有意差はみられなかったが、アカ、タイワン、マツソ、タブラエの4種では、虫えいの方が外皮は有意に厚かった。維管束のサイズは、クロ、アカ、タイワン、マツソ、タブラエの5種では、虫えいの方が小さく、クロ、タイワンではその差は有意であった。一方、リュウキュウでは虫えいの方が大きい傾向を示した。柔細胞のサイズは、全ての種で虫えいの方が有意に大きかった。健全針葉内の柔組織との比は、クロが最も低く、アカ、リュウキュウ、タイワン、タブラエ、マツソの順で大きくなった。最も低かったクロ(1.77)と最も高かったマツソ(10.73)の間には約6倍の差がみられた。

(3) 幼虫の体長(幼虫サイズ)

表-6に、8種のマツに形成された虫えい内の終齢幼虫の平均体長を示す。クロとの比較では、幼虫数が1~3の場合は、幼虫サイズはクロより大きかったり、小さかったり、差がなかったりと、種で異

表-2 虫えい内幼虫生息数ごとの虫えいサイズ (指数表示) の樹種間比較

幼虫数	虫えい サイズ	樹 種							
		アカ	クロ	リュウキュウ	タイワン	マツ	タブラエ	ユンナン	ニグラ
1	平均	6.6	5.7	12.8	4.8	5.0			
	SD	0.7	2.1	-	-	0.3			
	n	2	6	1	1	2			
2	平均	13.7	7.7	13.9	13.9 <sup>a</sup>	16.2 <sup>a</sup>	7.4		21.7 <sup>a</sup>
	SD	-	1.9	4.5	1.1	3.8	-		2.1
	n	1	2	5	2	9	1		2
3	平均	8.4	10.9	17.5 <sup>ab</sup>	16.2 <sup>ab</sup>	19.0 <sup>ab</sup>	16.3 <sup>b</sup>		22.9 <sup>a</sup>
	SD	1.3	3.2	4.1	4.1	4.8	7.9		5.0
	n	2	5	4	4	10	8		4.0
4	平均	13.8	10.4	20.4 <sup>ab</sup>	15.7 <sup>a</sup>	22.6 <sup>ab</sup>	26.7 <sup>a</sup>	49.9	21.2 <sup>a</sup>
	SD	5.1	2.6	3.4	4.2	5.5	12.1	-	5.3
	n	2	8	15	10	13	3	1	4
5	平均	14.9	12.8	24.6 <sup>ab</sup>	21.2 <sup>a</sup>	26.3 <sup>ab</sup>	36.5 <sup>a</sup>	38.9	25.1 <sup>a</sup>
	SD	6.4	3.1	4.9	3.6	6.0	15.0	-	1.0
	n	2	11	15	5	7	3	1	2
6	平均	10.7	12.8	29.4 <sup>ab</sup>	22.4 <sup>a</sup>	29.0 <sup>a</sup>	32.0 <sup>ab</sup>	46.3	
	SD	-	3.3	7.8	4.7	5.4	7.9	-	
	n	1	7	9	6	4	4		
7	平均		13.2	32.2	27.2	32.7	32.9	56.1	28.7
	SD		-	7.9	2.9	-	4.6	-	-
	n		1	6	3	1	2	1	1
8	平均		15.6	31.6 <sup>a</sup>	21.9 <sup>a</sup>	39.3 <sup>a</sup>			
	SD		2.1	8.6	5.1	6.8			
	n		4	6	4	2			
9	平均		13.8	27.8	28.0 <sup>a</sup>		72.2		
	SD		1.6	-	4.2		-		
	n		4	1	2		1		
10	平均		18.1	39.7					
	SD		1.4	-					
	n		2	1					

a: クロとの間に有意差, b: アカとの間に有意差

表-3 健全針葉と虫えいの外皮厚 (指数表示) の比較

樹種	健全針葉		虫えい		P-値 (t-検定)
	平均	SD	平均	SD	
クロ	3.56	0.63	3.30	0.71	0.4162
アカ	2.42	0.41	3.95	1.23	0.0046
リュウキュウ	3.11	0.38	2.89	0.72	0.4217
タイワン	2.21	0.29	3.99	0.98	0.0003
マツ	2.36	0.41	4.48	1.21	0.0004
タブラエ	2.34	0.48	4.07	0.84	<0.0001

表-4 健全針葉と虫えいの維管束サイズ (指数表示) の比較

樹種	健全針葉		虫えい		P-値 (t-検定)
	平均	SD	平均	SD	
クロ	1742.0	231.9	943.5	736.0	0.0100
アカ	1016.4	523.8	656.7	338.6	0.1033
リュウキュウ	961.0	107.3	1211.6	378.9	0.0723
タイワン	812.4	205.5	559.4	122.5	0.0074
マツ	871.8	231.9	803.3	514.6	0.7199
タブラエ	1236.2	528.7	896.8	199.4	0.1045

表-5 健全針葉と虫えい内の柔細胞のサイズ(指数表示)の比較

樹種	健全針葉(a)		虫えい(b)		P-値 (t-検定)	(b)/(a)比
	平均	SD	平均	SD		
クロ	13.7	2.1	24.3	6.9	0.001	1.77
アカ	12.2	2.1	38.2	8.8	<0.001	3.14
リュウキユウ	11.4	2.3	55.6	14.2	<0.001	4.88
タイワン	9.2	1.9	65.9	19.7	<0.001	7.15
マツ	10.3	1.7	110.4	24.7	<0.001	10.73
タブラエ	11.6	1.5	117.6	38.3	<0.001	10.13

表-6 虫えい内幼虫生息数ごとの終齢幼虫の体長の樹種間比較

幼虫数	体長 (mm)	樹種							
		アカ	クロ	リュウキユウ	タイワン	マツ	タブラエ	エンナン	ニグラ
1	平均	2.10	2.17	1.85	1.80	1.98			
	SD	0.04	0.21	-	-	0.04			
	n	2	6	1	1	2			
2	平均	1.96	1.81	2.08 <sup>a</sup>	2.09	2.05 <sup>a</sup>	2.04		2.26 <sup>a</sup>
	SD	-	0.05	0.15	0.12	0.15	-		0.02
	n	1	3	5	2	9	1		2
3	平均	2.11	1.84	2.01	1.89	1.96	2.02		1.61
	SD	0.06	0.17	0.17	0.17	0.13	0.20		0.02
	n	2	5	4	4	10	8		3
4	平均	2.17	1.95	2.01 <sup>b</sup>	1.78 <sup>ab</sup>	2.03 <sup>b</sup>	1.73 <sup>ab</sup>	2.04	1.88
	SD	0.06	0.16	0.13	0.23	0.21	0.03	-	0.28
	n	2	8	15	9	13	3	1	3
5	平均	2.13	1.97	1.98 <sup>b</sup>	1.70 <sup>ab</sup>	1.97	1.85	1.63	1.79
	SD	0.05	0.13	0.17	0.18	0.23	0.13	-	0.23
	n	2	11	16	5	7	3	1	2
6	平均	1.88	1.94	1.99	1.83 <sup>a</sup>	1.83	1.67 <sup>a</sup>	2.06	
	SD	-	0.13	0.13	0.09	0.19	0.18	-	
	n	1	7	9	6	4	4	1	
7	平均		1.79	1.78	1.93	2.00	1.72	2.10	1.72
	SD		-	0.12	0.17	-	0.04	-	-
	n		1	6	3	1	2	1	1
8	平均		1.81	1.78	1.71 <sup>a</sup>	1.96			
	SD		0.05	0.13	0.09	0.28			
	n		4	6	4	2			
9	平均		1.77	1.74	1.79		1.62		
	SD		0.06	-	0.06		-		
	n		4	1	2		1		
10	平均		1.74	1.87					
	SD		0.01	-					
	n		2	1					

a:クロとの間に有意差, b:アカとの間に有意差

表-7 6種類のマツの健全針葉と虫えい形成針葉の炭素と窒素含有率(%)

樹種	健全針葉(a)			虫えい形成針葉(b)			(b)/(a)比		
	C%	N%	C/N	C%	N%	C/N	C%	N%	C/N
クロ	47.89	2.16	22.17	48.20	2.15	22.42	1.006	0.995	1.011
アカ	48.79	2.12	23.01	47.68	2.11	22.59	0.977	0.995	0.982
リュウキユウ	49.51	2.24	22.10	48.93	2.17	22.55	0.988	0.969	1.020
タイワン	48.83	1.56	31.30	48.56	2.10	23.12	0.994	1.346	0.739
マツ	48.86	2.38	20.53	46.83	2.81	16.67	0.958	1.181	0.812
タブラエ	50.27	2.24	22.44	49.15	2.45	20.06	0.978	1.094	0.894

なった。その中では、幼虫数が2の時、リュウキュウ、マツ、ニグラでの値が有意に大きかった。幼虫数が4以上の虫えいでは、クロより幼虫サイズが小さくなる場合が目立ち、台湾では幼虫数が4~6と8、タブラエでは幼虫数が4と6の場合、差が有意であった。一方、アカとの比較では、幼虫数が1と2の場合、有意差がみられなかったが、幼虫数が3以上では、幼虫サイズは小さい場合が多く、幼虫数が4の場合のリュウキュウ、台湾、マツ、タブラエ、幼虫数が5の場合のリュウキュウと台湾での幼虫サイズは、アカに比べ有意に小さかった。

#### (4) 針葉内の炭素と窒素含有率

表-7に6種のマツの健全針葉と虫えい形成針葉の炭素と窒素の含有率を示す。炭素の含有率は、いずれの種でも約50%で、健全針葉と虫えい形成針葉間で大きな差はみられなかった。窒素の含有率は、クロ、アカ、リュウキュウの3種では、虫えい形成針葉は健全針葉とほぼ同じかやや低かった。それに対し、台湾、マツ、タブラエでは、虫えい形成針葉の方が健全針葉に比べ1.1から1.3倍ほど高かった。その結果、クロ、アカ、リュウキュウでは、C/N比は健全針葉と虫えい形成針葉の間で著しい差はみられなかった。それに対し、台湾、マツ、タブラエの3種ではC/N比は虫えい形成に伴い10~25%近く低くなった。

## 4. 考察

本種は、日本と朝鮮半島に分布している(倉永1994)。したがって、今回調査した8種のマツのうち、台湾、中国、ユーラシア大陸に生育している台湾、ユンナン、マツ、タブラエ、ニグラの5種と、被害発生記録は残っていない沖縄や奄美に生育しているリュウキュウを加えた6種は、本来の分布地では本種による加害はゼロか、アカやクロに比べ極めて少ないと考えられる。

それぞれの種に形成された虫えいは、古野(1987)の報告と同様、幼虫数とともに大きくなる傾向が認められた。虫えい内幼虫数ごとに虫えいサイズを比

較したところ、国産マツのアカやクロに比べ、本種による被害が報告されていないリュウキュウや外国産マツの方が大きい傾向が認められた。ヨーロッパで本種の近縁種 *T. brachynteral* により加害され続けているニグラ (Skuhravý 1972) の虫えいは、クロより大きかった。このことは、虫えい形成に対する寄主植物の反応は寄生者が近縁種でも異なる可能性を示唆している。以上のことから、寄主植物での虫えい形成に伴う反応は、外国産マツの方が国産マツより激しく、このことが、寄主植物間の虫えいサイズの差として現れた可能性が高いと推察される。

虫えいサイズの差は、セイトカアワダチソウに形成された *Eurosta solidaginis* の虫えいでも報告され (Weis *et al.* 1989, Lichter *et al.* 1990), *E. solidaginis* の虫えいのサイズの最大の決定要因は皮層の厚さであった。虫えい形成に伴う植物組織のリアクションとして、細胞膜の薄化、クチクラ合成の抑制、細胞内容物の変化が最初に現れ、幼虫による栄養組織の採食に反応して、栄養組織が発達する (Price *et al.* 1987)。今回、健全針葉と虫えいで外皮厚、維管束と柔細胞サイズを比較したところ、虫えい形成により、6種中4種で外皮が厚くなり、6種中5種で維管束は小さくなった。そして、柔細胞は全ての種で大きくなった。外皮厚の増大は、天敵からの防御効果を増すための適応 (Price *et al.* 1987, Stone and Schönrogge 2003) と考えられる。外皮厚に比べ柔細胞のサイズの増加率は大きく、本種の虫えい形成による組織の肥大は、主として栄養組織である柔細胞の肥大によりもたらされていたことがわかる。柔細胞の増大の程度は、アカとクロに比べ、リュウキュウや外国産のマツの方が大きかった。これらのことから、虫えいサイズの種間差は、柔細胞の肥大程度の差を反映していたと考えられる。

虫えい内の栄養状態に関しては、虫えい形成による植物組織の急激な変化により、虫えい内には栄養に富んだ化学物質の蓄積が多くなる一方、フェノール化合物などの化学的防御物質の含有率が低下し、虫えいの栄養的な価値が高まる (Price *et al.* 1987, 大園 2001, Stone and Schönrogge 2003, Triyago and



Yasuda 2013)。今回の調査でも、虫えい形成により、窒素の含有率は国産種ではほとんど変化がみられなかったが、外国産マツでは1.1～1.3倍に増加した。炭素の含有率は虫えい形成により変化しなかったのに対し、C/N比は国産マツではほとんど変化しなかったのに対し、外国産マツでは10～25%低下した。これらの結果から、虫えいの栄養状態の質は、国産マツではあまり改善されなかったのに対し、外国産のマツでは改善されたことがわかる。虫えいサイズも外国産マツの方が国産マツより大きかったことを考え合わせると、外国産マツに形成された虫えいの方が、国産マツに形成された虫えいより本種の幼虫にとって栄養的な価値が高かったと推察される。

今回の調査で、本種の虫えい形成に伴い、針葉の形態的、化学的特性の変化は外国産マツの方が著しいことが明らかになった。そして、虫えい内の栄養状態やサイズのマツの樹種間での比較から、外国産のマツに形成された虫えいの方が、国産のマツに形成された虫えいより栄養的価値が高く、外国産マツの虫えいに生息する幼虫は、国産マツの虫えい内の幼虫より、発育が良いと推測された。ところが、今回の調査結果はこの予想と異なり、幼虫サイズは、虫えい内幼虫数が1～3の場合は、アカヤクロと外国産のマツの間で差がなかったり、外国産や国産マツの方が大きかったりと種で異なったが、幼虫数が4以上の場合は、アカヤクロの方が大きい場合が多くなった。このことは、外国産マツでは、虫えい形成に伴う虫えい内の栄養状態の改善が、幼虫の発育に結びつかなかったことを示している。

虫えい形成に伴って虫えい内の組織の窒素含有率が増加する、フェノール化合物の含有率が低下するといった栄養面での改善が報告されている (Price *et al.* 1987, 大園 2001, Stone and Schönrogge 2003, Triyago and Yasuda 2013) 一方で、抵抗性物質のタンニンなどのフェノール化合物が虫えい付近への蓄積される事例も、マメ科植物に虫えいを形成するタマバエ (Fernandes *et al.* 2000) やクリタマバチ (Taper and Case 1987) で報告されている。フェノール化合物には、タンパク質変成作用・栄養価低

下作用があり (今野 1996)、チョウ目幼虫の生存率や体重の減少を引き起こすことが報告されている (鎌田 2006)。もし、外国産マツでも本種の虫えい形成に伴ってタンニンなどのフェノール化合物が多く蓄積されたならば、虫えい形成により生じた窒素の含有率の増加や虫えいサイズの増大といった、幼虫の成長にとってプラスの効果が打ち消された可能性がある。このことを確かめるためには、アカヤクロの国産マツと外国産マツで、虫えい形成前後のフェノール化合物の含有率の変化を比較する必要がある。しかし、今回は、炭素と窒素の含有率の虫えい形成前後での測定は行ったが、フェノール化合物の測定が出来るだけの十分な量の試料が得られなかった。虫えい形成に伴う虫えい形成昆虫に対する負の効果を持つ化学物質の分析とその効果についての検証が、今後の課題として残っている。

## 謝辞

鹿児島県林業試験場 (現鹿児島県森林技術総合センター) に、針葉内の炭素と窒素含有率の測定の便宜を図っていただいた。記して感謝します。

## 引用文献

- Critchfield WB, Little EL (1966) Geographic distribution of the pine of the world. U.S. For. Serv. USA
- Fernandes GW, Cornelissen TG, Isaias RMS, Lara TAF (2000) Plant fight gall formation: Hypersensitivity. *Ciência e Cultura J Brazil Assoc Adv Sci* 52: 49～54
- 古野東洲 (1987) 外国産マツ属の虫害に関する研究. 第8報マツバナタマバエの加害について - 続 -. 京大農演報 59: 16～30
- 古野東洲・曾根晃一 (1978) 外国産マツ属の虫害に関する研究. 第5報マツバナタマバエの加害について. 京大農演報 50: 12～23
- 鎌田直人 (2006) プナの葉食性昆虫ブナアオシャチホコの密度変動. *日生誌* 56: 106～119
- 今野浩太郎 (1996) 食べられまいとする植物と食べ

- ようとする昆虫の攻防. 化学と生物 34 : 580 ~ 585  
倉永善太郎 (1994) マツバノタマバエ. (森林昆虫  
総論・各論. 小林富士雄・竹谷昭彦編, 養賢堂)  
464 ~ 470
- Lichter JP, Weis AE, Dimmick CR (1990) Growth  
and survivorship differences in *Eurosta* (Diptera:  
Tephridae) galling sympatric host plants. *Environ  
Entomol* 19: 972 ~ 977
- 三浦 正 (1962) マツバノタマバエとその天敵の研  
究. 鳥根県林業試験場時報 7 : 1 ~ 186
- 中根 勲 (1969) 広島県におけるマツバノタマバエ  
の被害と防除について. 森林防疫 18 : 160 ~ 162
- Office of Forestry of Korea (1981) Biology and control  
of pine needle gall midge. Korea (in Korean)
- 大園享司 (2001) ブナ生葉・落葉上のゴールの化学  
性と菌類相. 日林誌 83 : 153 ~ 156
- Price PW, Fernandes GW, Waring GL (1987)  
Adaptive nature on insect galls. *Environ Entomol*  
16: 15 ~ 24
- 佐々木忠三郎 (1901) 日本樹木害虫編. 成文堂, 東京
- Skuhřavý V (1972) Distribution and outbreaks of  
the gall midge *Thecodiplosis brachyntera*  
(Schwagr.) in Europe (Diptera, Cecidomyiidae).  
*Acta Ent. Bohemoslov* 69: 217 ~ 228
- 曾根晃一 (1980) マツバノタマバエの個体数変動に  
ついて. 日林誌 62 : 168 ~ 175
- Sone K (1983) Gregariousness and development of  
larvae of the pine needle gall midge, *Thecodiplosis  
japonensis* Uchida et Inouye (Diptera: Cecido-  
myiidae), in a gall. *Appl Entomol Zool* 20: 431 ~ 438
- 曾根晃一 (1985) マツバノタマバエによる被害の樹  
体内分布. 日林誌 67 : 495 ~ 500
- Sone K (1986) Impact of the pine needle gall midge,  
*Thecodiplosis japonensis* Uchida et Inouye (Diptera:  
Cecidomyiidae), on the growth of pine trees. *J Jpn  
For Soc* 68: 278 ~ 283
- 曾根晃一 (1986) マツバノタマバエの生態学的研究.  
第1報生活史特性. 林誌研報 341 : 1 ~ 25
- Sone K (1995) Effects of the gregariousness of larvae  
in galls on the reproductive success of the pine  
needle gall midge, *Thecodiplosis japonensis* Uchida  
et Inouye (Dipt., Cecidomyiidae). *J Appl Ent* 119:  
267 ~ 272
- Stone GN, Schönrogge K (2003) The adaptive  
significance of insect gall morphology. *Trend Ecol  
Evol* 18: 512 ~ 522
- 高木五六 (1929) 恐るべき赤松の新害虫発生する.  
朝鮮山林会報 53 : 43 ~ 44
- Taper ML, Case TJ (1987) Interactions between  
oak tannins and parasitic community structure:  
Unexpected benefits of tannins to cynipid gall-  
wasps. *Oecologia* 71: 254 ~ 261
- Triyago A, Yasuda H (2013) Effects of host-plant  
manipulation by a gall-inducing insect on abun-  
dance of herbivores on chestnut trees. *Appl  
Entomol Zool* 48: 345 ~ 353
- Uchida T, Inouye M (1955) Eine neue *Thecodiplosis*-  
Art (Dip., Itonomididae). *Insecta Matsumurana* 19:  
44 ~ 50
- Weis AE, Wolfe CL, Gorman WL (1989) Genotypic  
variation and integration in histological features  
of the goldenrod ball gall. *Am J Bot* 76: 1541 ~ 1550
- Yukawa J, Uechi N (1999) Can gallers expand the  
host range to alien plant within a short period of  
time? *ESAKIA* 39: 1 ~ 7
- (2017.6.31原稿受付, 2017.7.6掲載決定)

## 論文

# 稗伐採と塩素酸ナトリウム・クロレート S 全面土壌散布の組み合わせによる放置竹林の効率的駆除

江上 浩<sup>1</sup>・久本洋子<sup>2</sup>・鈴木重雄<sup>3</sup>・高橋幸貴<sup>4</sup>  
須藤智博<sup>5</sup>・虻川勝宜<sup>6</sup>

## 1. はじめに

放置竹林対策の必要性が指摘されるようになって久しく、林野庁は竹林整備と竹資源の有効利用を図る用途に、2013年度から始まった「森林・山村多面的機能発揮対策交付金」制度を活用しているほか、森林整備事業において侵入竹の伐採に対する支援を実施している。一方、セルロースナノファイバー関連技術の開発においても、有望素材として竹資源の先端的な有効利用法が確立されつつあり、放置竹林対策が進展する可能性も高まっている。都道府県においても、森林整備・保全を目的とした税制度が構築されつつあり、その対象事業として放置竹林対策が含まれるものも多い。

この中で、著者らは実用的かつ効果的なタケ駆除法の確立を目的に、竹稈をあらかじめ全て伐った（したがって竹稈は資源として利用可能である）後の塩素酸ナトリウム50%粒剤（商品名：クロレート S、以下 本剤）の全面土壌散布法（以下 本手法）の有効性を地上部調査と地下部調査により示した（江上ほか 2015）。タケ類は地下茎によって栄養繁殖し、周囲の土地への発筍を通じて竹林を拡大し、また、地下茎はその存在自体が生死に関わらず、自然植生の再生や植林作業における障害と成り得ることから、衰弱・枯死の推移の定量的把握が重要と考えた。さらに、1回の本剤処理が二次植生の早期回復に寄与する可能性を示した（久本ほか 2016）。

本報告では、一連の研究（江上ほか 2015；久本ほか 2016）における薬剤処理3年後までの観察により、本手法がタケに及ぼす影響を報告する。地上部の測定結果、地下茎の外観観察に加えて、新たに

地下茎の硬度試験を実施し、江上ほか（2015）における乾燥重量等の比較に替えた。また、タケ駆除を目的とした場合、効果と経済性を勘案した手法の選択が必要となる。そこで、再生した稗の伐採を繰り返す手法（以下 既存手法）と本手法の3年間のコスト比較も行った。以上により、放置竹林の植生転換のためのクロレート S 全面土壌散布法の有効性を検討した。

## 2. 材料と方法

### (1) 試験地および処理の概要

試験地は千葉市若葉区古泉町の雑木林に隣接し、侵入後少なくとも15年以上放置されたマダケ (*Phyllostachys bambusoides*) 林である。試験地内に、30×8 mの区画を3つ設け、道路側から、薬剤処理区 I、無処理区、薬剤処理区 II と配置した（図-1）。

2013年5月に試験区全体の地上部の全ての稈を伐採し、背負い式散粒器を用いて薬剤処理区 I に45kg/10 a 量の本剤を散布し、薬剤処理区 II には60kg/10 a 量を散布した。その後は表-1のとおり、6回の再生竹稗の伐採を実施した。試験地および試験設計に関する詳細は、既報（江上ほか 2015；久本ほか 2016）のとおりであり、表-1にも各区画での処理と調査の実施状況を示した。なお、本剤は処理後速やかに地下茎および根に吸着・吸収され、その直接的な効果持続期間は最大でも2ヶ月程度であることから、その点も考慮して、伐採・調査時期を設定した。

### (2) 地上部調査

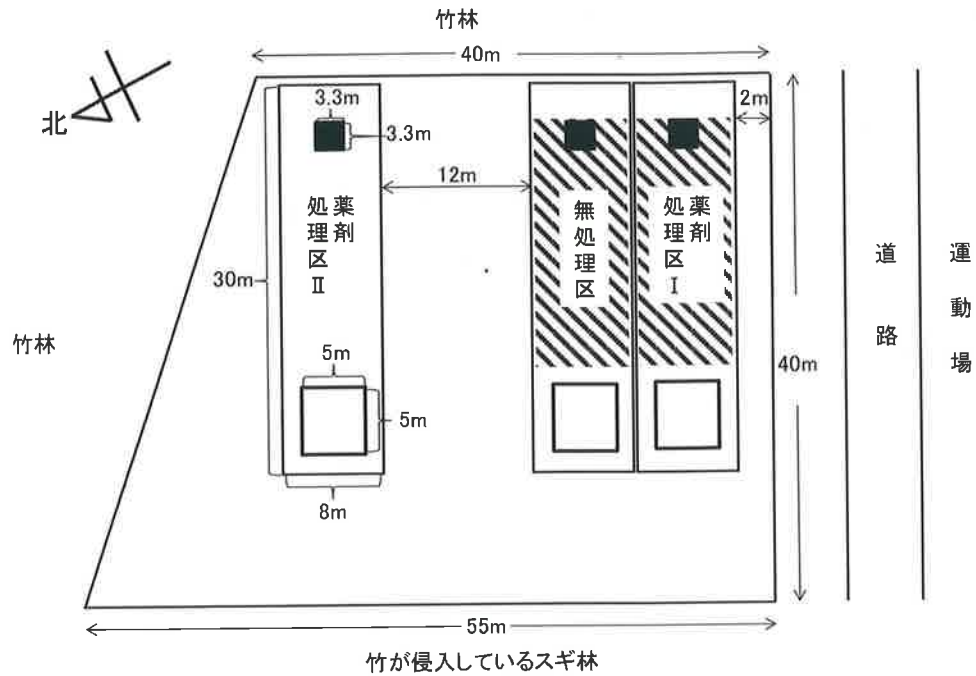
各処理区の南東側中央に3.3×3.3m（約10m<sup>2</sup>）で

The combination method of prior cutting and soil dispersion of chloric acid-based granules (Chlorate S) bring effective suppression for abandoned bamboo forest

<sup>1</sup>EGAMI, Hiroshi, 住化グリーン株式会社; <sup>2</sup>HISAMOTO, Yoko, 東京大学大学院農学生命科学研究科千葉演習林;

<sup>3</sup>SUZUKI, Shigeo, 駒澤大学文学部地理学科; <sup>4</sup>TAKAHASHI, Kouki, 住化グリーン株式会社;

<sup>5</sup>SUTOH, Tomohiro, 住化グリーン株式会社; <sup>6</sup>ABUKAWA, Masanori, 住化グリーン株式会社



■ : 竹稈推移調査区 □ : 植生調査区 \部分で地下部調査をランダム実施

図-1 試験地における各処理区の配置図 (久本ほか (2016) を元に作成)

表-1 各処理と調査の概要 (2013~2016年) (江上ほか (2015) を改変)

	2013年			2014年			2015年			2016年			
	5月	7月	9月	10月	5月	7月	10月	5月	7月	10月	5月	7月	10月
調査報告													
竹稈	○	○			○	○		○	○		○	○	
地下部				○	○			○			○		
植生			○		○		○	○		○	○		○
作業 (薬剤処理)	伐採 + (薬剤処理)				伐採		伐採	伐採	伐採		伐採		伐採
マダケの生活史		出程				出程			出程		出程		

○は調査項目を実施したことを示す。

設置した竹稈推移調査区 (図-1) において、新稈発生数と地際直径を計測し、薬剤処理区 I, 薬剤処理区 II, 無処理区の稈本数と地際断面積合計の比較を行った。

(3) 地下部調査

薬剤処理区 I および無処理区では、竹稈推移調査区と植生調査区を避けて、地下部掘り取りを行った

(図-1)。2013年掘り取りの外観調査の結果については江上ほか (2015) で報告済みである。2013年は2箇所/区としたが、2014年以降は3箇所/区とし、2015年以降はその内最低1箇所/区は、竹稈基部全体を掘り取った。掘り取りの深さは最深で60cmである。地下茎の採取法は、2013年は高圧水噴射器を用いて露出させたが、2014年以降はショベルにより露

出させ、50～60cm程度に切断し、観察・分析を行った。2013年掘り取り分は乾燥重量等の精密な調査を行うため、高圧洗浄機を使用して土壌を排除し、回収できる限りの根を保存したが、2014年以降は後述の硬度調査に切り替えたため、シャワー、たわしおよびブラシを使用して洗浄した。

#### ①地下茎および根の外観観察（目視・触診）による生死判定

掘り出した試料の全てで土壌の除去と同時に目視観察を行い、触診を行った。2013年の調査では両区とも地下茎と根を区別して判定したが、2014年以降の薬剤処理区Ⅰの試料は根の多くが腐って脱落しやすいので区別しなかった。

目視での生死判定は、地下茎はこげ茶色に変色しているもの、根はこげ茶色～黒色に変色しているものを「枯死」とし、地下茎は変色が無い或少ないもの、根は白色あるいはそれに近く変色が少ないものを「生存」とした。これに触診結果を併せて生死判定を行った。地下茎および根部の状態を目視で観察し、変色部や腐朽箇所を割合を考慮して、Ⅰ：枯死（100%）、Ⅱ：ほぼ枯死（90～99%）、Ⅲ：強度のダメージあり（60～89%）、Ⅳ：目立つダメージあり（20～59%）、Ⅴ：僅かにダメージあり（1～19%）、Ⅵ：健全育成（0%）の6段階評価とした。なお、本方法は前例の無い調査であるため、除草剤の効果判定基準（日本植物調節剤研究協会1998）を参考にした。

#### ②硬度調査

前述のとおり2014年以降は薬剤処理区でとくに根の劣化が激しかったことから、外観観察を除いては地下茎を主体とした硬度調査とした方が適当と判断した。硬度の測定は、ゴムの硬さを相対的に表示するデュロメータ（㈱テクロック社製アナログ式デュロメータGS-750G（タイプB、米国規格ASTM D 2240準拠））を用いた。本機は、半硬質ゴム用で木材の計測も可能であり、スプリング荷重値は550～8,050mNで、これを0～100の数値で示している。地下茎の外部（表面のことで、以下外部と記載）と内部の硬度は別個に測定した。外部は任意の部位

を最低3～4箇所測定し、内部は試料をノミまたはナタを使用して割り、その水平断面を同様に測定した。2014年は地下茎の外部・内部調査のみを実施したが、2015年以降は竹稈基部の外部・内部調査を追加した。参考のため本機を用いて測定したゴルフボールの硬度は82（5回平均値）で、地下茎（外部）初回調査（2014年5月）、竹稈基部（外部）初回調査（2015年5月）では、ともにそれを上回る硬度を有していた。

#### (4) 経済性評価

調査期間は、2013年5月15日から2016年7月13日までの3年2ヶ月とした。その間のタケ駆除作業にかかった、薬剤費用、薬剤処理と再生稈の伐採に要した労働コストを、薬剤処理区Ⅰ、薬剤処理区Ⅱ、無処理区について比較した。ただし、試験開始当初の試験地の全ての稈の伐採は全区で共通しているので除外した。薬剤処理区では、本剤の薬価および散布の労働コストは含めたが、散粒器については継続使用可能で減価償却を考慮してもコストに大きな影響を与えないと判断して除外した。薬剤散布作業後の年2回の再生稈の伐採作業は全区で共通している。ただし、再生する稈数や植生の違いが作業時間へ影響すると想定される。作業者はNPOちば森づくりの会に所属する里山林や竹林の整備の経験を有する会員で、伐採に用いた道具は主に竹用手鋸である。また、竹林跡地における二次林再生や植林活動を促進するためにはタケ駆除のみならず高茎草本の刈り払いが重要となるが（久本ほか2016）、本研究においてはタケ以外の草本の伐採は行わなかった。なお、コスト算出にあたっては、薬価はメーカー希望標準価格を採用した。労働コストは一般的な林業での刈払い作業と同等であると想定し、公共工事設計労務単価（職種：普通作業員、千葉県、所定労働時間内8時間当たりの単価）で18,600円（経済調査会2017）を分単位に換算し、1分間当たり39円と算出した。延べ作業時間は作業人数（人）と作業時間（分）を掛けて求めた。延べ作業時間に1分間当たり39円の賃金をかけて労働コストを算出した。

### 3. 結果

#### (1) 地上部

竹稈（新稈）の発生数および地際断面積合計の推移を図-2, 図-3に示す。

稈数は、薬剤処理区Ⅰでは2016年にかけて大幅に減少した。薬剤処理区Ⅱも薬剤処理区Ⅰと同様であった。一方、無処理区では2014年7月の大幅な増加や、2015年5月の極端な減少を経て安定傾向となった。なお、2014年5月の地下部調査時に、誤って無処理区の調査区内から1箇所（1株分）の掘り取りをしてしまったので、それ以降の数値は本来よりも下回っていると思われるが、評価は可能と判断した。

地際断面積合計は、薬剤処理区Ⅰも薬剤処理区Ⅱも1,000mm以下で増減した。無処理区では2013年7月に約4,400mmであったものが、2014年7月には12,000mm以上となり、2016年7月には2,000mm程度となった。3区とも2014年7月までは増加し、2015年以降は減少するという傾向は同様であった。

#### (2) 地下部

##### ①外観観察による生死判定

2015年のサンプルについて、洗浄前と洗浄後の目視および触診の結果を一部例示した（表-2）。同様の調査を2014年、2016年に実施したが本報告では割愛し、2014～16年の結果を総括した表を示した（表-3）。薬剤処理区Ⅰの地下茎では、既報告（江上ほか2015）のとおり、2013年10月掘り取り分（以下 処理半年後）で明らかな変色（褐色程度）が相当部分で見られ、2014年5月掘り取り分（以下 処理1年後）以降は黒色化が進行していた。2015年5月掘り取り分（以下 処理2年後）では地下茎切断面や内部は繊維状となり（写真-1a）、乾燥が顕著でかつ腐朽が進行していた。さらに触診した結果では、大部分が柔らかく軽い力を加えると割れるような状態であり、また一部には、繊維状になった部分に菌糸が発生していた（写真-1b）。腐朽が進行している部位では、洗浄中に組織がもろく崩れてし

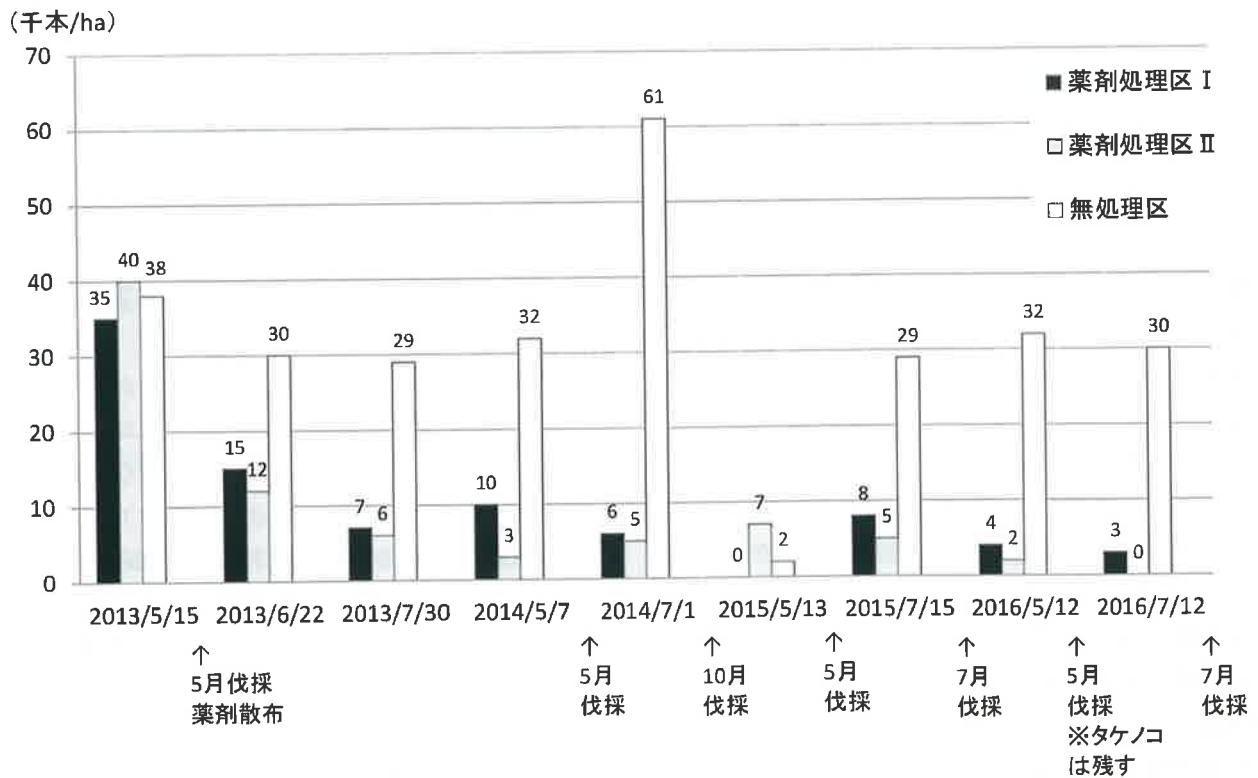


図-2 竹稈（新稈）発生数の推移

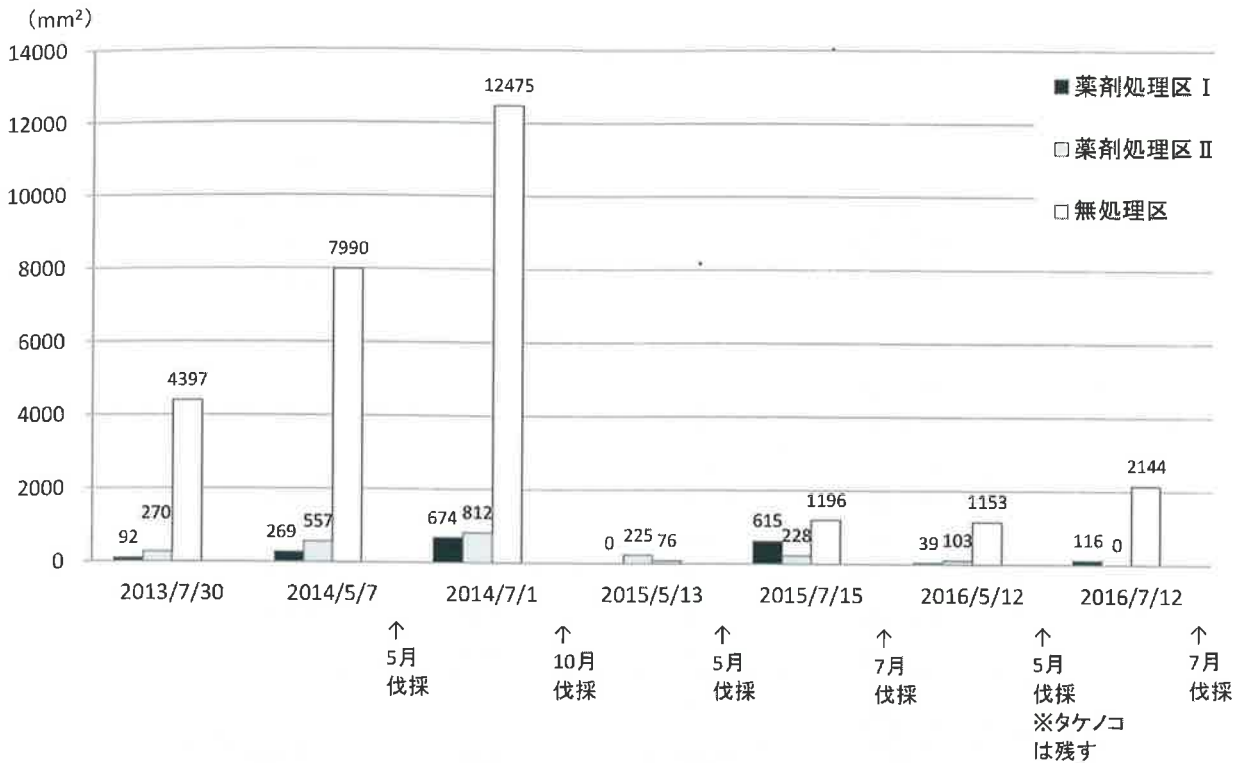


図-3 地際断面積合計の推移

表-2 洗浄前・後の地下部（地下茎および根部）の診断概要抜粋（2015年5月13日掘り取り分）

サンプル	洗浄前の根部・地下茎調査	洗浄後の根部・地下茎調査
	達観・触診	達観・触診
薬剤処理区 I	地下茎の外観は白いものの、手で圧力を加えるとすぐにわれる程、柔らかく、内部も繊維状になり、腐朽が進行した状態であった。また、地下茎から出る根部はほとんどなかった。	白色ではあるものの、外観につやがなく腐朽していることがより鮮明となった。
	地下茎の外観は褐色で、内部は繊維状になり、非常に柔らかく、腐朽が進行した状態であった。	地下茎の腐朽部分である褐色部が明確化し、より腐朽が鮮明となった。
	地下茎の外観は褐色に変色していたが、一部白い部分が残る状態であった。切断の内部は繊維状になっており、他の処理区よりは軽度ではあるが、腐朽が進んでいる状態であった。地下茎から根部は残るものの、新根は認められなかった。	地下茎の腐朽部分である黒色部が明確化し、より腐朽が鮮明となった。
無処理区	地下茎の外観は黒色に変色していた。切断面および内部は繊維状になっており完全に腐朽した状態であった。また地下茎から出る根部は、ない状態であった。	地下茎の腐朽部分である黒色部が明確化し、より腐朽が鮮明となった。
	地下茎の外観は白く、切断面から見た内部も非常に密であった。地下茎から出る根部も白く、健全であった。触感も非常に硬く健全な状態であった。	洗浄することにより、地下茎および根部の白色が鮮明になり、健全であることが確認された。
	地下茎の外観は褐色であったが、切断面から見た内部も非常に密であった。地下茎から出る根部も多く、健全であった。触感も非常に硬く健全な状態であった。	洗浄することにより、地下茎および根部の白色が鮮明になり、健全であることが確認された。洗浄前の地下茎の褐色の要因の大部分は土壌の付着による汚れであった。

各区で採取したサンプルの地下茎部位について、洗浄前後で観察を実施した。一部を抜粋して表記した。

表-3 2014, 2015, 2016年の洗浄後の地下茎の目視および触診結果

2014年の目視・触診による地下茎の状態比較

サンプル名	触診	内部状態	色調	その他	健全/腐朽判定
薬剤処理区 I	① やや軟らかい	部分的に繊維状	白色～褐色	細根多い	腐朽
	② 軟らかい	やや繊維状	褐色～黒色	細根多い	腐朽
	③ やや軟らかい	やや繊維状	褐色～黒色	細根多い	腐朽
無処理区	① 非常に硬い	密	白色	細根多い	健全
	② 非常に硬い	密	白色	細根多い	健全
	③ 非常に硬い	密	白色	細根多い	健全

2015年の目視・触診による地下茎の状態比較

サンプル名	触診	内部状態	色調	その他	健全/腐朽判定
薬剤処理区 I	① 軟らかい	繊維状	白色～褐色		腐朽
	② 軟らかい	やや繊維状	白色～褐色	細根残る	腐朽
	③ 軟らかい	繊維状	褐色～黒色		腐朽
無処理区	① 非常に硬い	密	白色	細根多い	健全
	② 非常に硬い	密	褐色	細根多い	健全
	③ 非常に硬い	密	褐色		健全

2016年の目視・触診による地下茎の状態比較

サンプル名	触診	内部状態	色調	その他	健全/腐朽判定
薬剤処理区 I	① 非常に軟らかい	繊維状	褐色～黒色	洗浄中に崩壊	腐朽
	② 軟らかい	やや繊維状	黒色	洗浄中に崩壊	腐朽
	③ 軟らかい	繊維状	白色～黒色		腐朽
無処理区	① 非常に硬い	密	白色	新芽発生	健全
	② 硬い	密	白色～黒色	新芽発生	健全
	③ 非常に硬い	密	白色	新芽発生	健全

まう箇所も存在し、洗浄後は腐朽部分である褐色～黒色部位がより鮮明となり（写真-1c）、腐朽進行状態がより明確に確認された。根については、主根よりも側根が脱落しやすい傾向があり、処理2年後には掘り出した地下茎にほとんど根がついていなかった（写真-1c）。2016年5月掘り取り分（以下処理3年後）も同様であった（写真-1d, e）。一方、無処理区では、地下茎の外観は基本的に白色で、切断面から見た内部も非常に密であり、地下茎から発生している根も多く、白色を呈していた（写真-1c, d）。また、地下茎は非常に硬く、新芽が認められたサンプルもあったことから（写真-1f）、健全な状態であることが確認された。一部の地下茎では外観が黒色であったが、触感は非常に硬く、内部も密

であったため健全と判断した。

試験地での観察結果として、本試料採取分とは別に2015年5月に薬剤処理区Iで別途掘り当てた地下茎は、手で折ることが可能なほどに軟化していた（写真-2a）。竹稈基部は白色を保っていた（写真-2a）。同時期には、後述するようにまだ硬度が高いものと著しく軟化したものが混在しており、軟化したものでも肌色を保っているものもあった（写真-2b, c）。

最終的な生死判定として、薬剤処理区Iでは、処理半年後ではランクIIIであったが、処理1年後以降はランクIIであった（表-4）。一方、無処理区では、処理半年後にランクVを示したが、それ以降はランクVIであった。



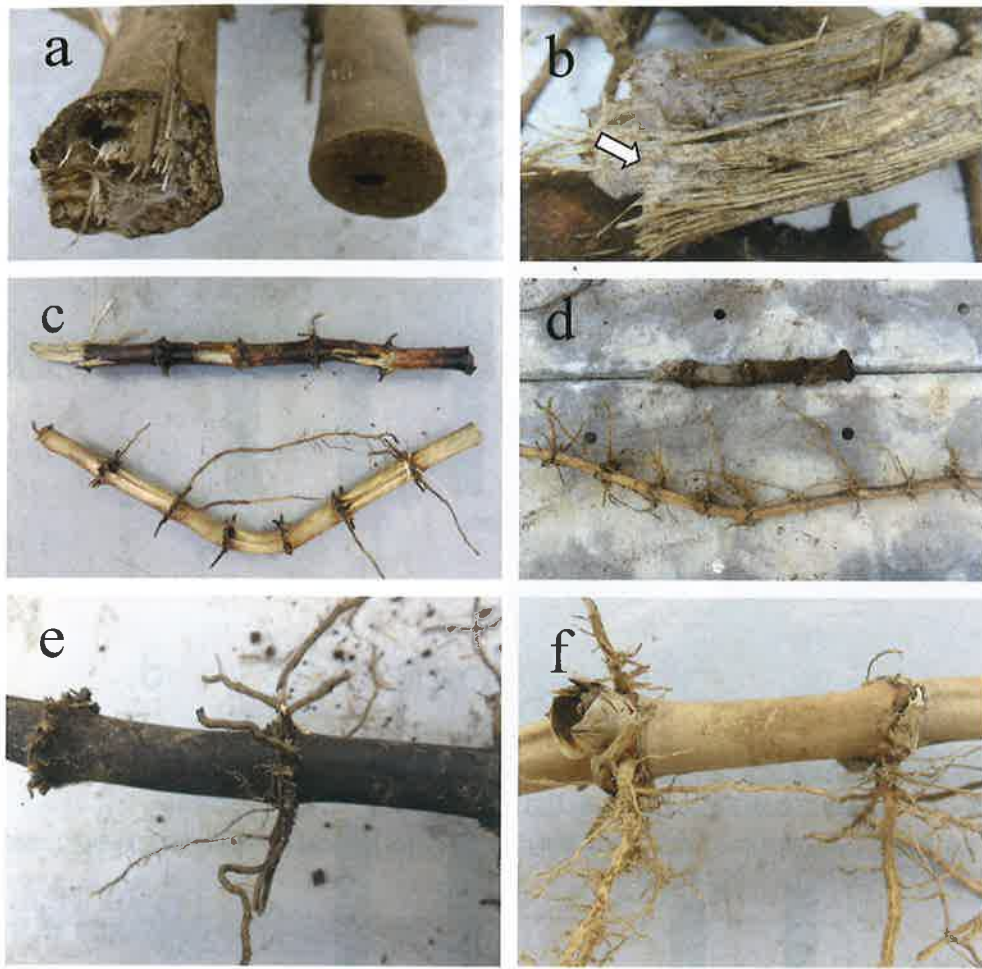


写真-1 地下茎の外観

a: 洗浄前の地下茎切断面 (左: 薬剤処理区, 右: 無処理区), b: 洗浄前の薬剤処理区の地下茎内部 (矢印は菌糸を示す), c: 洗浄後の地下茎 (上: 薬剤処理区, 下: 無処理区), d: 洗浄前の地下茎 (上: 薬剤処理区, 下: 無処理区), e: 洗浄後の薬剤処理区の地下茎, f: 洗浄後の無処理区の地下茎. a-c は2015年5月, d-f は2016年5月に掘り取ったサンプルである.

## ②硬度調査

地下茎の硬度は、処理1年後では外部・内部ともに薬剤処理区Iと無処理区との間に大きな差はなかった(図-4a)。処理2年後では、薬剤処理区Iが無処理区と比較して明らかに低くなる傾向が認められた。対無処理区比で外部は0.78, 内部は0.46であり、とくに内部で顕著であった。処理3年後では、処理2年後の傾向を継続しつつ、さらに処理区間の数値差が明確となっており、対無処理区比で外部は0.61, 内部は0.29で、軟弱化傾向は内部で顕著であった。一方、無処理区では全期間を通じて数値の低下傾向

は認められなかった。この場合処理1年後というのは、試験開始前の伐採を1回経ただけの状態であって、地下部にまで及ぶ大きなダメージは受けていないほぼ自然状態に近いものと想定されるが、以降は処理3年後調査まで計5回の伐採を経ているものの、地下部に目立った影響は無いことが確認された。

次に竹稈基部では、処理1年後の調査は出来なかったが、処理2年後では外部・内部ともに薬剤処理区Iと無処理区との間で地下茎ほどの大きな差は認められなかった(図-4b)。対無処理区比で外部は1.04, 内部は1.14であった。処理3年後も薬剤処



写真-2 試験地での地下茎の観察結果 (2015年5月)

a: 薬剤処理区Ⅰから掘り取った地下茎が手で折れた状態と竹稈基部の様子, b, c: 薬剤処理区Ⅰで掘り取った地下茎が繊維質に分解された状態.

表-4 地下部全体の生死判定推移

	調査年度			
	2013	2014	2015	2016
薬剤処理区Ⅰ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
無処理区	Ⅴ	Ⅵ	Ⅵ	Ⅵ

【効果判定】Ⅰ：枯死 (100%) Ⅱ：ほぼ枯死 (90～99%), Ⅲ：強度のダメージあり (60～89%), Ⅳ：目立つダメージあり (20～59%), Ⅴ：僅かにダメージあり (1～19%), Ⅵ：健全育成 (0%)

理区Ⅰの対無処理区比は, 外部は0.93, 内部は0.96で大きな差は認められなかった。しかし, 硬度測定のための切断作業で, 薬剤処理区Ⅰは極めて容易に割れた。一方, 無処理区は容易に割れず, 初期の段階では数値に表れない質的な差異はあった。

### (3) 経済性評価

表-5に作業内容 (使用道具を含む) および延べ作業時間を示した。本剤のコストは薬剤処理区Ⅰで

6,480円, 薬剤処理区Ⅱで8,640円であった (以下 小数点以下を四捨五入して記載)。

2013年は両薬剤処理区のみ薬剤費および散布作業の労働コスト (薬剤処理区Ⅰは2分10秒で85円, 薬剤処理区Ⅱは約3分で117円)がかかった。以後は, 各区で再生した竹稈の除去に対する労働コストであり, これを合計した累積コストを図-5に示す。

各年のコストの合計は, 薬剤処理区Ⅰでは2013

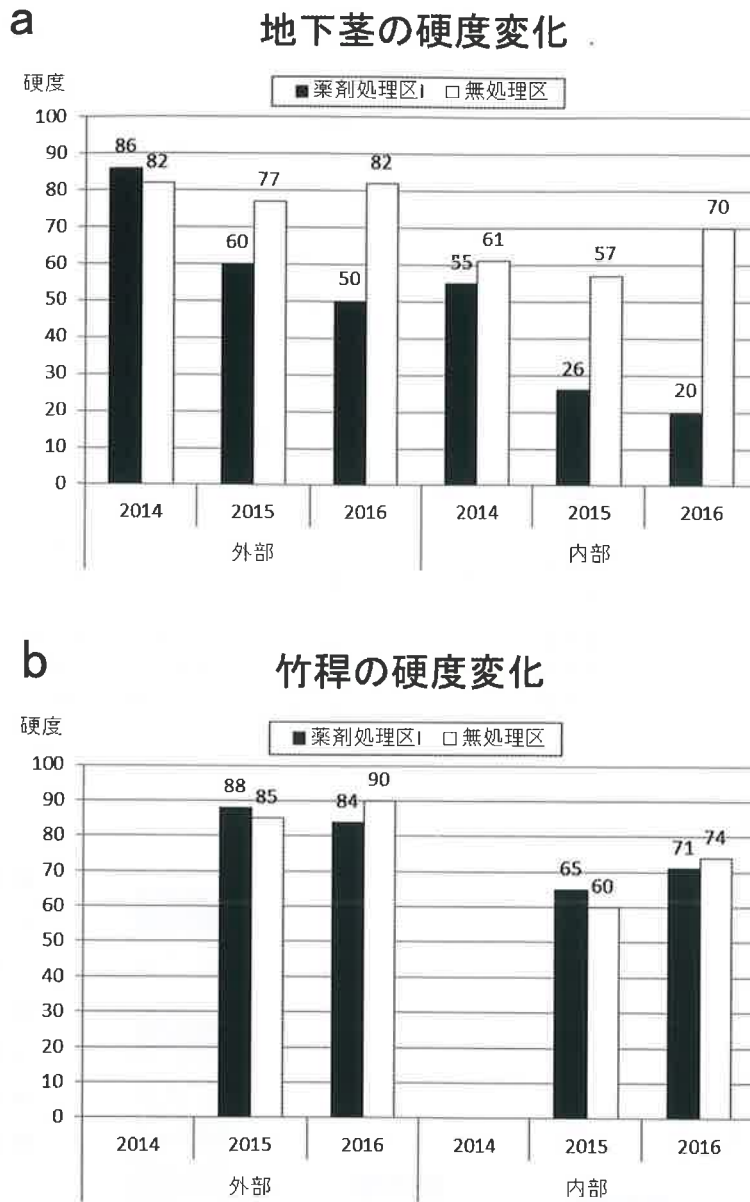


図-4 薬剤処理区Iと無処理区における地下茎 (a) および竹稈 (b) の外部・内部硬度変化  
竹稈 (b) の2014年は未実施である。

～16年にそれぞれ6,565円, 2,886円, 1,482円, 1,521円と推移し, 累積コストは12,454円となった。同様に薬剤処理区IIでは8,757円, 2,808円, 702円, 944円と推移し, 累積コストは13,211円となった。これに対し, 同様に無処理区は, 2013年は本剤を散布しなかったもので0円であったものの, 以降は17,979円, 2,457円, 2,696円と推移し, 累積コストは23,132円となった。

とくに2014年の薬剤処理区IとIIでは伐採にそれぞれのべ74人・分, 72人・分かかっていたのに対し, 無処理区ではのべ461人・分の時間がかかったために, 労働コストが大きくなり, これだけで薬剤処理区の累積コストを超えた。この結果, 3年間の累積コストとしては, 両薬剤処理区に対し, 無処理区は1.8倍ほどのコストがかかった。

表-5 駆除に要した時間(分・人)およびコスト(円)の内訳

試験地全域における試験開始前の伐採を除き、各区でタケ駆除にかかった作業をまとめた。作業時間は作業人数(人)と作業時間(分)から求め、作業コストは1分当たり39円の賃金で算出した。

	2013年 5月	2014年 5月	2014年 10月	2015年 5月	2015年 7月	2016年 5月	2016年 7月
無処理区	作業時間(分・人)	0	151	310	15	48	37
	作業コスト(円)	0	5889	12090	585	1872	1448
	薬剤費(円)	0	-	-	-	-	-
薬剤処理区 I	作業時間(分・人)	2	29	45	20	18	19
	作業コスト(円)	85	1131	1755	780	702	741
	薬剤費(円)	6480	-	-	-	-	-
薬剤処理区 II	作業時間(分・人)	3	22	50	10	8	11
	作業コスト(円)	117	858	1950	390	312	429
	薬剤費(円)	8640	-	-	-	-	-
使用道具	背負い式散粒器	竹用手鋸	竹用手鋸	竹用手鋸	竹用手鋸	竹用手鋸・ハサミ	竹用手鋸
備考	薬剤散布作業のみ測定		伐採程の搬出も含む	他の植生が多く、探索に時間を要す	他の植生が多く、探索に時間を要す	タケノコ残す	

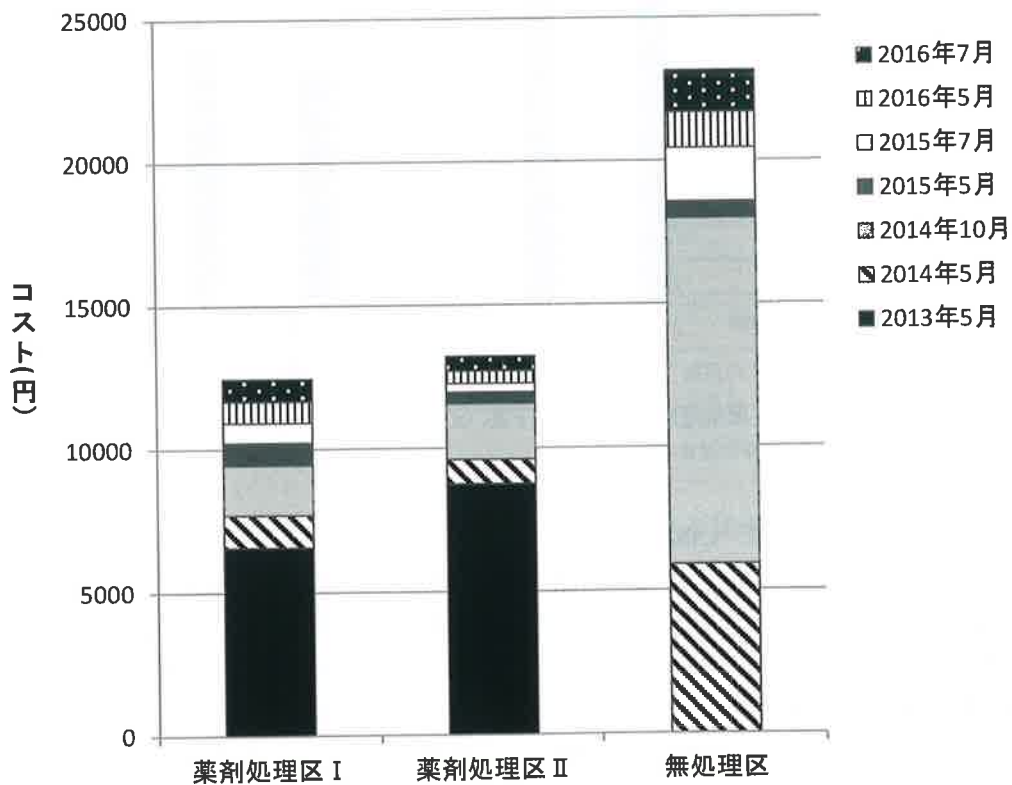


図-5 各区画(240㎡)の3年間でかかった駆除費用の累積比較

2013年5月は薬剤散布にかかった費用のみを算出した。

## 4. 考察

### (1) 地上部

3年間の推移をみると、薬剤処理区Ⅰ、Ⅱ区は、無処理区に比べて一貫して新稈発生数、地際断面積合計ともに小さい。これは「地下部を効率的に衰退させ薬剤使用量を抑えた駆除を行う」という目標に合致している。この様に防除初期に大きなダメージを地下部に与えて再生能力を低下させる本手法は実用的に優れているといえる。

薬剤処理区間の比較では、45kg/10a量散布したⅠ区よりも60kg/10a量散布したⅡ区のほうが僅かではあるが効果が優っていた。しかし、薬剤コストや伐採作業等の増減と駆除達成期間の長短を考慮して選択すれば良い程度の違いであった。

一方、無処理区の駆除効果は不十分であり、伐採負荷のみでは再生能力が損なわれる程度は低い。なお、2014年7月1日と2015年5月13日の間の差は、2014年秋の伐採時期の影響や、タケ類で一般的にみられる表年・裏年による発筍量の違いに起因するものであり、伐採効果が及ぼした影響とは考えにくい。

### (2) 地下部

本剤処理によって地下部は、次のように変化すると考えられる。塩素酸ナトリウムの作用機序は酸化作用といわれており、水によって本剤から解離した酸素イオンが地下茎および根（主根・側根）へ付着・吸収された結果、速やかに酸化される。これは、より繊細な側根の脱落から始まり、この段階で水分および養分吸収能力のほとんどを喪失すると考えられる。その後主根も多くが脱落し、硬く強固な地下茎も、根の脱落により吸収を阻害されるために、貯留した水分および養分を使い果たし、外部は黒変し、内部は乾燥、そして崩壊して繊維状になる。このため人の手で割れるほどに軟化してしまう。

これは、本研究の硬度変化にも現れており、とくに本剤処理2年後の地下茎内部の硬度値は、処理1年後から大きく低下しており、その間の腐朽進展が著しいと考えられる。とくに地下茎の外部より内部の硬度低下がより早くかつ顕著であった。なお、本研究の生死判定で、薬剤処理区Ⅰにおいても、地下

部全体が完全に枯死することはなく、細胞として生存している白色部位が僅かに点在していた。しかし、周囲が腐朽していることから、枯死への経過段階と考えられる。これに試験地での観察結果も踏まえると、本手法の実施により、竹林駆除後の地下茎を土地転換や植林といった各種作業の障害ではなくすることができると推察される。

一方で、地上部を支えるために強度が高いと推察される竹稈基部は、処理2年後のデータから地下茎と同等以上の硬度を有しており、腐朽にはより時間を要すると考えられる。本剤が散布されたマダケの地下茎では外部が乾燥・枯死後、一時的に硬度を増し、元々柔らかい内部の崩壊が進むにつれ、外部も硬度を落としていくと考えられる。その影響を受けた竹稈基部も枯死するが、遅れて乾燥が進み、一時的に硬度を増すものの、その後、崩壊に時間を要する地上稈同様に徐々に軟化に転ずるものと考えられる。しかし、試験地において竹稈が竹稈基部から容易に引き剥がせることを確認したことから、時間の経過により、竹稈基部も人の蹴り倒し程度で崩せるようになるとみられる。

一方で、無処理区の結果から、既存手法ではタケ駆除の達成は見通せなかった。片野田・井手(2005)は造林地に侵入したモウソウチクに関し侵入程度(立稈密度)によっては皆伐後1年でほぼ駆逐可能であったことを示し、近藤ほか(2014)はモウソウチクの放置林において、皆伐後4年目以降には新たな再生竹が認められなかったことを報告しているが、短期間での評価確定は慎重を期す必要がある。また既存の研究では、地上部と地下部とを同時に調査した事例はなく、地下部を含めた駆逐が達成されたかは必ずしも明確ではない。そのために、自治体の竹林管理マニュアル等においても、駆除可能な期限の明示はなされないか(静岡県環境森林部森林総室自然ふれあい室2004)、5年以上の刈払い継続の必要性を指摘しているにとどまっている(石川県林業試験場2012)。本研究では3年経過しても地下部の生存率は100%を維持していることから、ダメージとしては小さく、今後も地上部の伐採作業を継続する

必要があることだけを確認し、必要な年数を予測できなかった。

### (3) 経済性評価

薬剤散布にかかったコストは2年以内に回収され、最終的に3年間で1.8倍前後の差が生じた。各処理区は240㎡であるが、1 haの竹林処理にかかる総防除コストに換算すると、薬剤処理区Ⅰが518,901円、薬剤処理区Ⅱは550,450円に対し、無処理区は963,820円となった。また、無処理区の再生稈数と地下部の生存状態に鑑みれば、最終駆除段階までの薬剤処理区ⅠおよびⅡと無処理区との累積コスト差は更に拡大すると推察される。この点からも、本手法は経済的な実用性を有することが示された。実際の駆除にあたっては、本研究の試験設計にとらわれず、伐採方法（タケだけを選択的に伐採するのではなく、草本も同時に除去するなど）や伐採時期を工夫することで、さらに作業の効率化やコスト減が期待できる。

## 5. おわりに

タケ駆除で最も重要な点は、地上部再生の基となる地下部を駆逐することにあるが、本手法は、地上部はもちろん地下部の衰退にも効果的であり、本剤処理後2年以内に達成出来ると考察された。

また、コスト面でも、既存手法より有利である。ただし、薬剤処理区間では、コストのみならず効果面においても、顕著な差はなかった。

さらに、地下部を効果的に腐朽させることから、伐採後侵入が期待される木本種の実生や植林された苗の成長への養分・水分の収奪による阻害や、堅固な地下茎による物理的な阻害の要因も著しく軽減され、他用途への利活用面においても有利である。

なお、同時（2015年5月）に実施した植生遷移調査では、本剤無処理区が本剤処理区に似た植生へと遷移するのにおおむね2年程度多く時間が必要であった（久本ほか 2016）。したがって、「地上部の資材のみならず土地の利活用開始時期目標の設定、あ

るいはその早期化は可能か」という観点からも、本手法はそれに貢献出来得ると判断された。

## 謝辞

本研究実施にあたっては、実施場所の手配、伐採等の諸作業、試験地管理に関して、特定非営利活動法人ちば森づくりの会の皆様に厚いご理解と甚大なお協力を頂いた。この場を借りて深甚な謝意を表す。

## 引用文献

- 江上 浩・久本洋子・鈴木重雄・高橋幸貴・須藤智博・尾川新一郎・若林利昌・遠藤良太（2015）事前伐採と塩素酸ナトリウム粒剤（クロレートS）全面土壌散布の組み合わせによる放置マダケ林の防除。森林防疫 64：20～28
- 久本洋子・江上 浩・鈴木重雄（2016）稈伐採および塩素酸ナトリウム・クロレートS全面土壌散布によって放置竹林から広葉樹林への早期転換は可能か？ 景観生態学21(1)：69～74
- 石川県林業試験場（2012）よくわかる石川の森林・林業技術 No.12 モウソウチク林の駆除と森林化
- 片野田逸郎・井手幸樹（2005）造林地に侵入したモウソウチクの繁殖過程とその継続的な皆伐による駆逐効果。九州森林研究 58：63～66
- 経済調査会（2017）月刊積算資料2017年6月号。経済調査会 p953
- 近藤 晃・加藤 徹・伊藤 愛（2014）モウソウチク林の皆伐後における再生竹の持続的な刈り取りが広葉樹林化に及ぼす影響。静岡県農林技術研究所研究報告 7：71～76
- 日本植物調節剤研究協会（1998）芝関係除草剤試験実施基準及び要領（平成10年度改訂版）、試験実施基準：6～11
- 静岡県環境森林部森林総室自然ふれあい室（2004）竹林整備読本  
(2017.7.14原稿受付, 2017.8.30掲載決定)

## 論文

九州山地で大発生したブナハバチ *Fagineura crenativora* によるブナの被害実態後藤秀章<sup>1</sup>・上田明良<sup>2</sup>・阿南一義<sup>3</sup>・桑原英隆<sup>4</sup>  
藤川晃久<sup>5</sup>・川野博之<sup>6</sup>・小中原真<sup>7</sup>

## 1. はじめに

ブナハバチ *Fagineura crenativora* はブナ *Fagus crenata*, イヌブナ *Fagus japonica* のみを食樹とするハバチ科の昆虫であり、北海道、本州、四国、九州から広く記録されている (Shinohara *et al.* 2000)。すでに1990年代には東北、関東地方では本種と考えられるハバチの大発生とブナへの激しい食害が認識されており (山上ら 2001), その後、東北から関西までの地域で大発生が記録されてきた (福沢ら 2014; 日野 2001; 木南 2005; 桃澤 1999; 野澤 2009; 山上ら 2005)。中でも神奈川県丹沢山地では、1993年以降、継続してブナハバチの大発生が起こっており (越地 2002; 越地ら 2006, 2008; 山上ら 2007; 谷ら 2008, 2012; 谷・伴野 2016), また激しい食害を複数回受けることで、枯死する個体があることから (越地 2002; 越地ら 2006, 2008, 2012; 山上ら 2007), ブナ林の衰退原因の1つとして問題視されている (谷脇ら 2016)。

九州では2012年に初めて、宮崎県西臼杵郡向坂山周辺の山塊において本種によると考えられる食害が確認された (上田ら 2013)。この食害は翌年まで続いたが (上田ら 2014), 2014年にはほぼ食害は認められなくなっていた (上田ら 2015)。ところが2016年に再び、被害範囲が拡大して食害が発生した。当該地域は九州中央山地森林生物遺伝資源保存林および九州中央山地国定公園に指定されており、ブナ林をはじめとする周辺地域が保全対象となっている (九州森林管理局 2015)。また、枯死の恐れがあるため、地元でも今後の経過が注目されている (宮崎日日新聞 2016)。

そこで今後ブナの保全を考えていく上での基礎データとして重要な被害実態の調査を開始した。具体的には、ブナハバチの幼虫がみられなくなった7月に食害によって葉が失われた割合を調査し、8月には今後予測されるブナの衰退の過程を記録するため、現時点でのブナの状況を把握する目的で、ブナに発生している枝枯れが疑われる枝の割合を調査した。あわせて、食害とブナの生育場所との関係を検討するため、登山道からの距離、シカ柵との位置関係を記録した。

## 2. 調査地と調査方法

調査地は宮崎県西臼杵郡五ヶ瀬町、東臼杵郡椎葉村と熊本県上益城郡山都町の境界に位置する国有林に設定した (図-1)。調査地周辺は林齢150年以上の天然林で、ブナを主とする落葉広葉樹林が広がっている (九州森林管理局 2015)。ここに九州自然歩道の五ヶ瀬ハイランドスキー場側の登山口より向坂山山頂、白岩峠を通り白岩山岩峰 (旧白岩山山頂) までと、ごぼう畑登山口より白岩峠までの合計約3.2kmの登山道を調査ルートとして設定した (図-1)。この場所は2012, 2013年にもブナハバチが大発生した地域である。対象樹種はブナであり、イヌブナは調査ルート上にみられなかった。

調査はブナハバチ幼虫が見られなくなる2016年7月4~5日 (7月調査) と失業後に生じる再展葉が概ね完了した後の8月24~25日 (8月調査) に行った。7月調査では、この登山道の両側約20mにある胸高直径10cm以上のブナ立木411本にナンバーテープを付け、GPS (Garmin社製 GPSMAP 62SJ)

Damage of beech caused by outbreak of the beech sawfly *Fagineura crenativora* in Kyushu Mountains

<sup>1</sup>GOTO, Hideaki, (研)森林総合研究所九州支所; <sup>2</sup>UEDA, Akira, (研)森林総合研究所九州支所;

<sup>3</sup>ANAN, Kazuyoshi, 林野庁宮崎北部森林管理署高千穂森林事務所; <sup>4</sup>KUWAHARA, Hidetaka, 林野庁宮崎北部森林管理署;

<sup>5</sup>FUJIKAWA, Teruhisa, 林野庁宮崎北部森林管理署; <sup>6</sup>KAWANO, Hiroyuki, 林野庁熊本南部森林管理署;

<sup>7</sup>KONAKAHARA, Nao, 林野庁九州森林管理局資源活用課

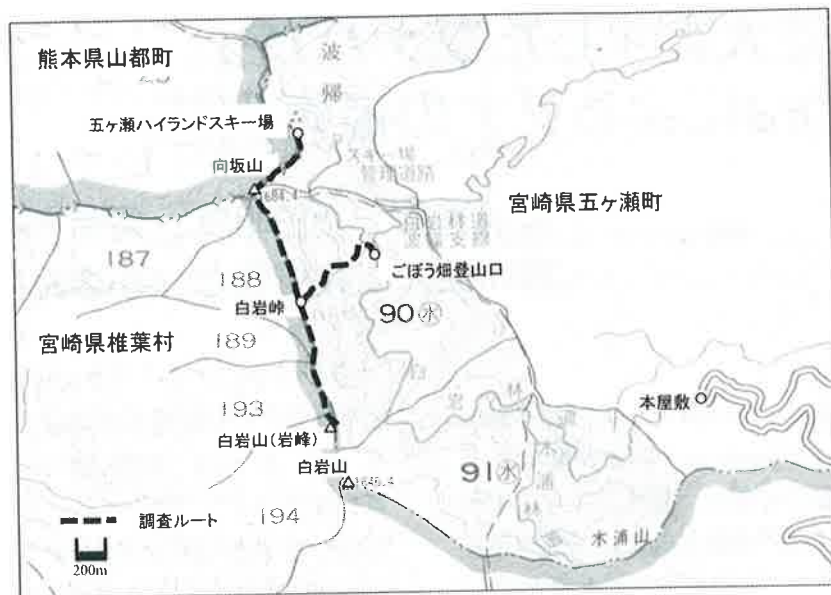


図-1 調査地

平成5年度調整熊本営林局高千穂営林署管内図より作成。

による位置情報，胸高直径，林道縁からの距離，目視によるブナハバチ食害率を記録した。7月の調査では，食害により完全に葉が失われた木と枯死した木の区別は付かなかったため，枯死した木についても，調査対象に含めた。食害率は樹冠の葉が失われている部分の割合によって10%未満，10%以上40%未満，40%以上70%未満，70%以上100%未満，100%の5段階で記録した。また，現地にはシカの食害から林床植生を保護するためのシカ柵が設置されており，対象のブナ立木がシカ柵内にあるのか，もしくはシカ柵外にあるのかについても記録した。シカ柵は登山道に沿って設置され，奥行き約20m，総延長は2150mあり，2012年には全区間にステンレス線入ポリエチレンネット柵が設置された。また，2014年にはこのうち600mの区間に，さらに2015年には850mの区間にステンレス線入ポリエチレンネット柵に追加して金属柵が設置された。設置場所の下層植生は，設置時点ではシカの食害によりほぼ失われていた。現在，シカ柵内では徐々に下層植生の回復が見られるものの，消失以前に優先していたスズタケはほとんど見られず，より草丈の低い草本植物が優先していた。

8月調査では，7月調査でナンバーを付けたブナ立木について，再展葉を含めて，生葉がみられず枯れていることが疑われた枝（枝枯れ）の割合を目視で記録した。枝枯れの程度は，樹冠の枯れが疑われる枝の割合によって，10%未満，10%以上40%未満，40%以上70%未満，70%以上100%未満，100%の5段階で記録した。

### 3. 結果と考察

#### 3.1. 食害の割合

411本の調査木のなかで，食害率10%以上の木は369本（90%）で，そのうち最も多かったのは食害率10%以上40%未満の木で121本（29%）あり，また食害率100%の木は107本（26%）であった（図-2）。これまでブナハバチによる食害が最も大きく，またよく調査されている神奈川県丹沢山地では，1993，1994年に最初に食害が確認されたあと，1995年に被害木が観察されなくなったのち，1997年に地域を拡大して再び食害が発生した（越地 2002）。今回の調査地である九州山地でも，2012年と2013年に連続してブナハバチによる食害が発生したが（上田ら 2013，2014），2014年に一旦食害が終息した（上



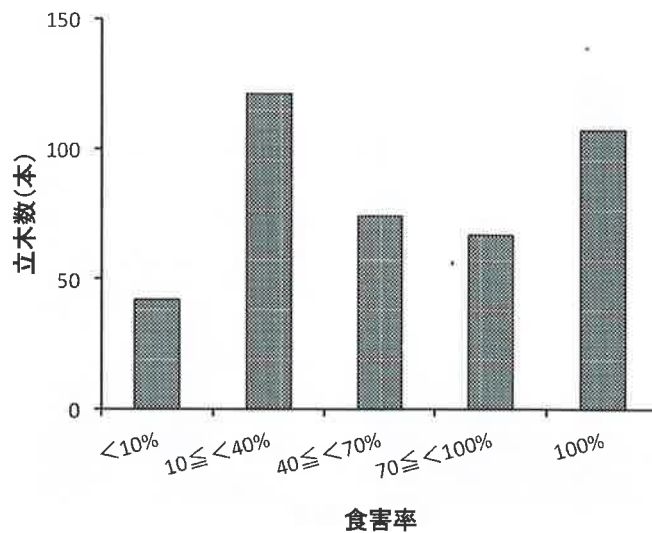


図-2 7月調査における食害率毎のブナ立木本数

田ら 2015)。そしてこの度、2016年に再度食害が発生した。このように九州山地と丹沢山地では、最初に食害が確認されてからの経過が似通っている。

そこで今回の調査結果を丹沢山地での再発後の食害の程度と比較した。丹沢山地で最も食害の程度が高い激害型林分とされた天王寺南斜面の被害では、食害再発生後の1997～1999年の激害（葉がほとんど食害されたもの）とされた木の割合が20～30%程度（越地 2002）と今回の結果（100%葉が失われた調査木の割合が26%）と同程度であった。また同様に激害型林分とされた丹沢山南東斜面では、激害とされた木の割合は0～15%程度であり（越地 2002）、今回の結果より規模は小さかった。

丹沢では近年でもブナハバチによる食害が継続して発生している（山上ら 2007；谷ら 2008, 2012；谷・伴野 2016）。2011年には調査地点のうち最も食害の大きかった3カ所では、丸坊主の状態の木が40～50%も記録される激しい食害が発生している（谷ら 2012）。また、食害の発生傾向は地域により異なり、大きな食害が発生してもその後食害が発生しない地域、比較的大きな食害が頻発する地域、徐々に食害が大きくなる地域がある（谷ら 2012）。さらに食害は周期的ではなく、その規模は突発的に大きく変動する（谷ら 2012）。今回発生した九州における食害につ

いても、今後さらに大きな食害が突然発生する可能性があり、今後の推移を注意深く見守る必要がある。

### 3.2. 枝枯れの割合

8月調査での枝枯れの程度は、10%未満の木が255本（62%）、10%以上40%未満の木が142本（35%）であり、40%未満の木が全体の96%を占めた（図-3）。このように、枝枯れの程度は全体として低いと考えられた。当年の食害とその後の枝枯れの関係では、枝枯れの程度100%の木は、食害率70%以上100%未満の木で1本（0.2%）、食害率100%の木で3本（0.7%）現れた（図-4）。これらの木が枯死したのかどうか注意深く見極める必要がある。食害率10%以上の木では、食害率が高くなるほど枝枯れの程度10%未満の割合が大きくなる一方、枝枯れの程度10%以上40%未満の割合が小さくなっていった。当初は食害率が高くなるほど枝枯れが進行すると考えたが、予想に反して食害率が高いほど、枝枯れの程度は低くなる傾向があった。8月調査時点での観察では、食害によって完全に生葉が失われた枝では、再展葉により生葉が再生されていたのに対し（写真-1左）、食害が不完全で食べ残しの葉が残っている枝では再展葉が起こっておらず、中には葉がなくなっているように見えるものがあった（写真-1右）。被害木では翌春に枝枯れ（引用元では枝先枯れ）

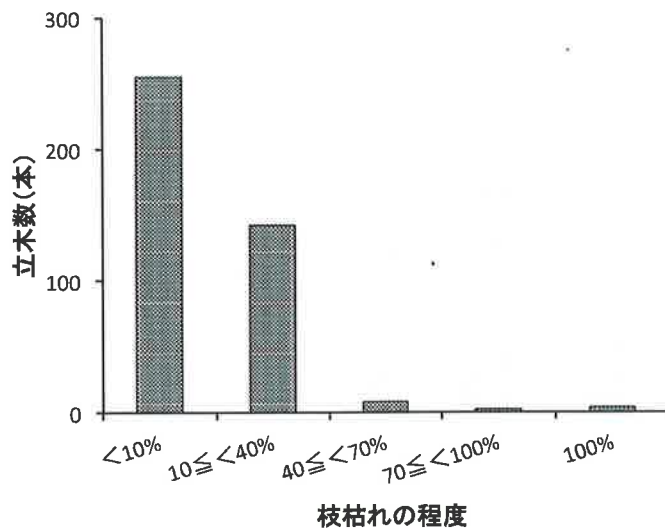


図-3 8月調査における枝枯れ程度毎のブナ立木本数

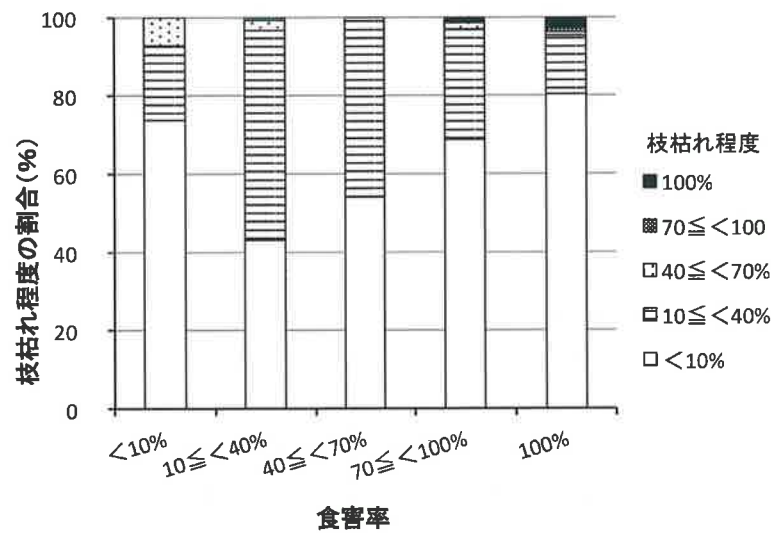


図-4 食害率毎の枝枯れ程度

が生じることが報告されている (桃澤 1999)。写真-1 右の事例のように、葉がなくなっているように見える枝が完全に枯れたのか、それとも翌春に正常に葉をつけるのか、今後継続した調査で明らかにする必要がある。なお、食害率10%未満の木でも枝枯れが生じているが、これは食害発生前に枯れた枝を含んでいるためである。

### 3.3. 枯死木の発生状況

今回の調査では、ブナハバチによる食害の程度が

高かったにもかかわらず、枝枯れの程度が激しく枯死が疑われる被害は少数に留まった。また、完全に枯死していた3本については、すでに細枝が失われており、当年の食害によるとは考えられなかった (写真-2)。丹沢山地の調査でも、再度食害が発生した1997年には枯死は発生していなかった (越地 2002)。しかし、丹沢では1999年まで継続してブナハバチの食害が発生し、その後枯死被害が発生した (越地 2002)。そのため、九州山地の被害地でも、



写真-1 食害率と再展葉

左：7月の食害率100%のブナ，右：7月の食害率70%以上100%未満のブナ。2016年8月24, 25日撮影。



写真-2 8月調査時点で枯死していたブナ  
細枝などが失われている（2016年8月24, 25日撮影）。

継続してブナハバチの大発生と食害が生じた場合には、ブナの枯死被害が発生する可能性があるため、今後も経過観察を続ける必要がある。

#### 3.4. 被害木と登山道の位置関係

今回の調査は登山道周辺で行ったため、登山者による踏み固めによるブナのストレスの影響も予想された。そのため登山道からの距離と食害率についても調査した。登山道からの距離と食害率との関係を

図-5に示す。登山道からの距離が5m未満，5m以上10m未満，10m以上15m未満，15m以上20m未満でそれぞれ，食害率10%未満の木が11%，13%，9%，7%，食害率10%以上40%未満の木が29%，24%，31%，35%，40%以上70%未満の木が17%，21%，17%，18%，70%以上100%未満の木が15%，20%，15%，16%，100%の木が29%，23%，28%，24%であった。このように距離毎の各食害率の立木

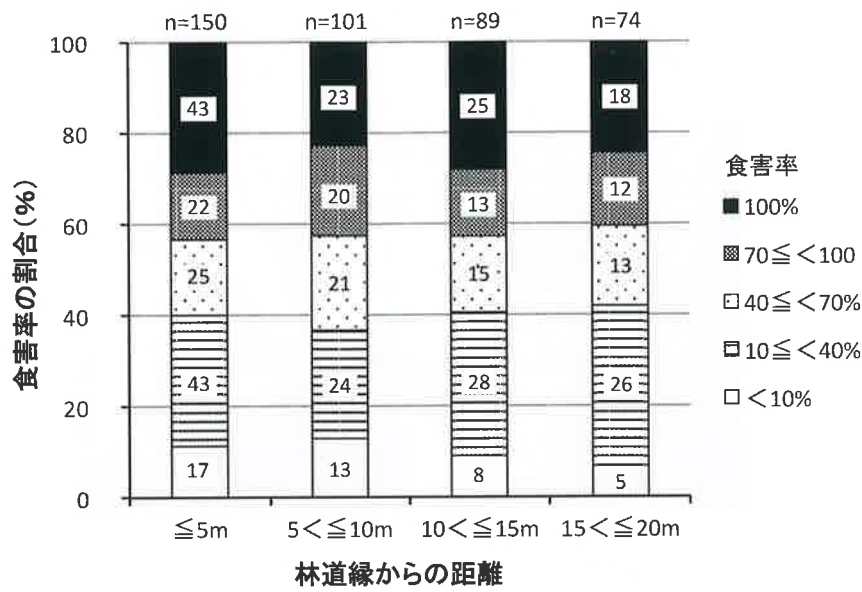


図-5 登山道縁からの距離毎の食害率  
グラフ中の数字は本数。



写真-3 2014年時点での林床  
シカに食害され枯れたスズタケが見られる (2014年5月9日撮影)。

割合はほぼ一定であり、今回の結果では、踏み固めによるブナのストレスの影響と樹冠の食害との関係はないと考えられた。一方で、登山道などの踏圧が高い場所はブナハバチの繭が形成されない(谷脇ら2012)とされており、繭の密度が登山道からの距離によってどのように異なり、それがどの程度食害率に反映されるかを検討する必要がある。

### 3.5. 被害木とシカ柵の位置関係

今回の調査地を含む九州山地では1990年代にはすでにシカの被害が問題となっており(岩切ら1995)、天然林への植生被害も報告されている(井上・小泉1996)。今回調査地とした向坂山、白岩山周辺でも、シカによる林床植生への食害が発生しており、2013年の時点ではシカに食害されたスズタケなどの残滓が見られたことから、近年に食害が進んだとみられる(写真-3)。シカの採食によるものを含め、林

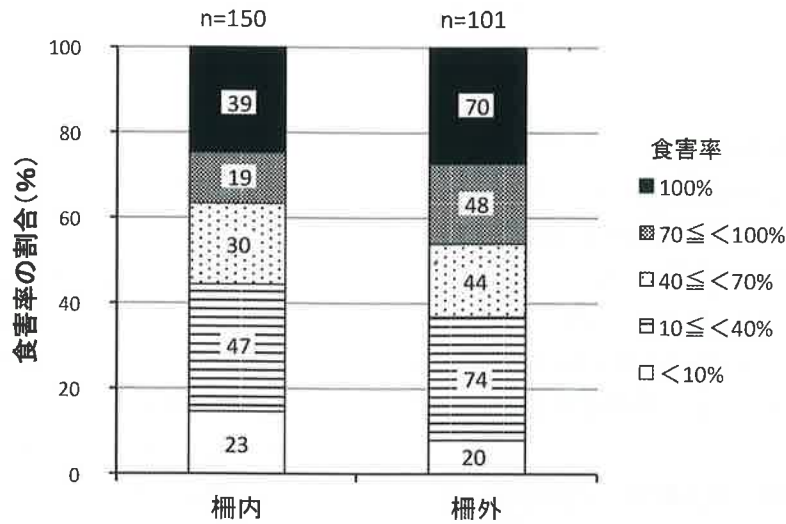


図-6 シカ柵内と外の食害率  
グラフ中の数字は本数。

床被覆の減少による土壌の乾燥や森林構造の単純化がブナやブナ林の環境に様々な影響があることが指摘されており (山上ら 2007; 山根ら 2007), とくにブナハバチ菌の高密度化の原因として, ブナの抵抗力の低下, 土壌環境の変化による菌の生存と発育の促進, 階層構造の単純化による天敵の減少が考えられている (谷脇ら 2012)。

そこで今回の調査では, シカの食害と関連した事項として, 対象となるブナがシカ柵内にあるのか, それとも外にあるのかについて記録した。結果を図-6に示す。食害率はシカ柵内とシカ柵外で, 食害率10%未満の木が15%と8%, 食害率10%以上40%未満の木が30%と29%, 食害率40%以上70%未満の木が19%と17%, 食害率70%以上100%未満の木が12%と19%, 食害率100%の木が25%と27%であった。このように, シカ柵内と柵外で食害率に明瞭な違いはなかった。シカ柵設置後の経過年数は長くても4年であり, 林床植生の回復は十分に進んでおらず, また, 食害以前とは植生が異なっていた。そのため, ブナ林の環境を改善するまでには至っていないと考えられる。植生の回復とブナハバチの食害との関係について, 今後継続して調査していく予定である。

### 謝辞

本調査にあたり, 九州森林管理局森林整備課ならびに保全課, および宮崎北部森林管理署の皆さんに協力をいただいた。とくに宮崎北部森林管理署の工藤孝署長には, 調査全般にあたり, 九州森林管理局森林整備課の蒲地勝也氏には, 現地調査で協力いただいた。森林総合研究所九州支所の川部美奈子氏には, 現地の地図作成に協力いただいた。また, 本調査の一部は, 森林総合研究所九州支所連携推進費の補助を受けて行った。ここに記して謝意を表す。

### 引用文献

福沢朋子・山路貴大・谷脇 徹・逢沢峰昭・大久保達弘 (2014) 栃木県高原山尚仁沢のイヌブナ・ブナ天然林における4年間のブナハバチ被害の発生状況. 宇都宮大学演習林報告 50: 79~83  
 日野輝明 (2001) 森林における鳥をめぐる生物間相互作用ネットワーク. 日本鳥学会誌 50: 125~144  
 井上 晋・小泉 透 (1996) 九大宮崎演習林の天然林における野生シカが及ぼす植生被害について. 日本林学会九州支部研究論文集 49: 105~106  
 岩切裕司・讃井孝義・黒木逸郎 (1995) ニホンジカ

- による森林被害調査. 日本林学会九州支部研究論文 48: 143 ~ 144
- 木南正美 (2005) 県下に発生したブナの食葉性害虫について. 奈良県森林技術センターだより 84: 4
- 越地 正 (2002) 丹沢山地におけるブナハバチ大発生経過とブナの被害実態. 神奈川県自然環境保全センター研究報告 29: 27 ~ 34
- 越地 正・田村 淳・山根正伸 (2006) 丹沢山地におけるブナハバチの加害と影響に関するブナ年輪幅変動の解析. 神奈川県自然環境保全センター報告 3: 11 ~ 24
- 越地 正・谷脇 徹・相原敬次・山根正伸 (2012) 檜洞丸におけるブナハバチの大発生によるブナの衰弱枯死. 神奈川県自然環境保全センター報告 9: 95 ~ 104
- 越地 正・谷脇 徹・田村 淳・山根正伸 (2008) 丹沢山地における2007年に大発生したブナハバチ被害とこれまでのブナの衰弱枯死経過. 神奈川県自然環境保全センター報告 5: 3 ~ 9
- 九州森林管理局 (2015) 九州中央山地森林生物遺伝資源保存林. [http://www.rinya.maff.go.jp/kyusyu/keikaku/hogorin/shinrin\\_seibutsu/kyusyucyuou\\_sanchi.html](http://www.rinya.maff.go.jp/kyusyu/keikaku/hogorin/shinrin_seibutsu/kyusyucyuou_sanchi.html), 2017.4.24参照
- 宮崎日日新聞 (2016) 「霧立越」ブナ枯死懸念 ブナハバチ幼虫大量発生. [http://www.the-miyanichi.co.jp/kennai/\\_19472.html](http://www.the-miyanichi.co.jp/kennai/_19472.html), 2017.4.24参照
- 桃澤邦夫 (1999) 三頭山ブナ林における昆虫被害とその影響について. 日本森林学会関東支部論文集 50: 87 ~ 88
- 野澤彰夫 (2009) 栃木県におけるブナハバチによるイヌブナの食葉被害. 関東森林研究 60: 221 ~ 223
- Shinohara A, Vikberg V, Zinovjev A, Yamagami A (2000) *Fagineura crenativora*, a new genus and species of sawfly (Hymenoptera, Tenthredinidae, Nematinae) Injurious to beech trees in Japan. Bull Natn Sci Mus Tokyo Ser A 26 (3): 113 ~ 124
- 谷 晋・伴野英雄・山上 明 (2008) 丹沢山地におけるブナハバチの大量発生の再発とその食害状況について. 東海大学総合教育センター紀要 28: 55 ~ 61
- 谷 晋・伴野英雄・山上 明 (2012) 丹沢山地におけるブナハバチ幼虫のブナ葉への食害状況の経年変化 (2008-2011). 神奈川県自然環境保全センター報告 9: 91 ~ 94
- 谷 晋・伴野英雄 (2016) 丹沢山地におけるブナハバチ幼虫のブナ葉への食害状況 (2014-2015). 神奈川県自然環境保全センター報告 14: 37 ~ 40
- 谷脇 徹・相原敬次・斉藤央嗣・山根正伸 (2016) 丹沢山地ブナ林の衰退要因とその複合作用. 神奈川県自然環境保全センター報告 14: 1 ~ 12
- 谷脇 徹・山根正伸・田村 淳・相原敬次・越地 正 (2012) 丹沢山地において大量発生したブナハバチ対策への取り組み (総説). 神奈川県自然環境保全センター報告 9: 81 ~ 89
- 上田明良・小坂 肇・高畑義啓・矢部常晶 (2013) 平成24年の九州地域の森林病虫獣害発生状況. 九州の森と林業 103: 4 ~ 5
- 上田明良・小坂 肇・高畑義啓・矢部常晶 (2014) 平成25年の九州地域の森林病虫獣害発生状況. 九州の森と林業 108: 4 ~ 5
- 上田明良・小坂 肇・高畑義啓・矢部常晶 (2015) 平成26年の九州地域の森林病虫獣害発生状況. 九州の森と林業 113: 4 ~ 5
- 山上 明・谷 晋・伴野英雄 (2001) 丹沢のブナを食い荒らすブナハバチ. 国立科学博物館ニュース 382: 5 ~ 7
- 山上 明・谷 晋・伴野英雄 (2005) ブナハバチの性比と産卵数 (予報). 東海大学総合教育センター紀要 25: 47 ~ 54
- 山上 明・谷 晋・伴野英雄 (2007) ブナハバチ食害によるブナ枯死とブナ林の衰退. 丹沢大山総合調査学術報告書 (丹沢大山総合調査団編), 256 ~ 268, 平岡環境科学研究所, 相模原
- 山根正伸・相原敬次・鈴木 透・笹川裕史・原 慶太郎・勝山輝男・河野吉久・山上 明 (2007) ブナ林の再生に向けた総合解析. 丹沢大山総合調査学術報告書 (丹沢大山総合調査団編), 703 ~ 710, 平岡環境科学研究所, 相模原

(2017.5.11原稿受付, 2017.9.4掲載決定)

## 新刊紹介

### 木質昆虫学序説

著者：岩田隆太郎  
 出版社：九州大学出版会  
 発行日：2015年12月10日  
 仕様：B5判, 512頁  
 定価 8000円 (税別)  
 ISBN：978-4-7985-0170-3

耳慣れない言葉だがそれもそのはず、木質昆虫学 xyloentomology とは著者の造語。「木質を食する、あるいは利用する様々な昆虫たちについて、その総体、およびその興亡を一連の流れとしてとらえ、すべてを一貫した目でとらえ直し、これより新しい視点を得て木質を食する昆虫たちの生態や生理の全てを見直す (あとがき)」のがその所以である。

こうした昆虫、著者言うところの「木質依存性昆虫」とは、樹木(葉や花、果実などを除く)の生死を問わずそれを直接間接に利用する連中である。彼らは森林保護・木材保護の観点からはコントロールの最重要な対象であるのは言うまでもないが、生態系においても不可欠な役割を果たしている。陸上バイオマスの大半は樹木由来であって、落枝や枯死木の最終的な分解は微生物が主役になるとしても、たとえば穿孔性昆虫などの加工によって枯死木の分解は劇的に促進される。こうした重要性から森林保護学、木材保存学、森林生態学など関連各分野においてこれらの昆虫はそれぞれの研究対象となってきたが、あくまで「木質」を軸として、すべてをその視座から俯瞰しかつ熟視するのが本書の意図するところに他ならない。

さてひとくちに木質と言っても、樹木の構造はなかなか複雑で外樹皮、内樹皮、形成層、辺材、心材はそれぞれが形態学的に異なる特徴を持っている。また樹木を樹木たらしめる代表的要素リグニンも難分解性で、昆虫には「煮ても焼いても食えない」らしいが、セルロースやヘミセルロースなど他の成分にしても昆虫が利用するにはそれぞれ異なる手管が必要だ。さらに、立木からスタートして、収穫を経て製材品となるにつれ、また枯死木から腐朽材と



なるにつれ、物理的・化学的な性質は大きく変化する。したがって木質依存昆虫たちも、それぞれの段階に適応した特徴をもっており、それがこれらの昆虫の膨大な多様性の元となっているのである。本書の第I部「木質昆虫学の基礎」ではこうした木材の解剖学的、化学的、生理学的な特徴が昆虫との関わりからの観点から述べられる。「木質」のことはあまり知らない私のような読者には大いにためになる。樹木に限らず、植食性昆虫と植物との関係の歴史は、被食者である植物側の防衛と、昆虫による対抗手段の進化の産物であるが、これについても樹脂などの防御物質はもちろん、罹患部隔離説など興味深い理論に関する言及もあり興味を引かれる。

全5部構成のI部が総論とするとII部「木質と昆虫のかかわり」が各論。木質依存昆虫—その大多数はコウチュウ目とシロアリ目—が、木質という栄養的には不利な資源の難点を克服しながら(ときには微生物の力を借りて)、多様な生息環境のもとで展開しているありさまが、色々な切り口から幾多の例とともに提示される。虫屋としての著者の真骨頂といえるかもしれない。上記のように樹木成分を栄養として利用しなければならない昆虫は、微生物との提携が多くの場合不可欠である。たとえばシロアリと共生微生物との関係はあまりに有名だが、この両

者の関係だけに限っても、その内容は実に多様で複雑だ。こうした他生物、とくに微生物と昆虫との関係がⅢ部「木質昆虫学における他の生物の関連」で詳しく述べられる。Ⅳ部「木質昆虫学の展開」では、本書を「序説」と位置づける著者が基礎的、応用的を問わず、今後の研究展望を行っている。このⅣ部に限らず、本書の随所に興味深い未知の問題が披露されており、読者はそこから研究テーマの種をみつけることができるかもしれない。Ⅴ部「木質昆虫学の未来」はごく短く、あとがきを兼ねている。

本書で開陳され、また見渡される、木質と昆虫との関わりの及ぶ範囲は驚くほどである。死体を食うシロアリだの触角先端に毒を持つ「人刺しカミキリ」だのといったエピソードや著者の体験談も拔かりな

く盛り込まれており、本書全体としては網羅的な内容ではあるものの、読者をあきさせることがない。またほぼ100頁におよぶ文献リストはとても有用である。

それにしても本書で印象に残るのはその語り口だ。膨大な文献の渉獵にもとづくこれでもかというばかりの事例の枚挙と、こうした類の書籍ではあまりお目にかからない、ともすれば下世話な（下品ではない）表現の時折混じる書きぶりは、どことなく博覧強記の博物学者南方熊楠の随筆などに通じるものを感じさせる。異色の専門書と言わねばなるまい。

なお本書に数回現れる「森林施行」は正しくは「森林施業」であろう。

(森林総合研究所 生物多様性研究拠点 牧野俊一)

## 森林病虫獣害発生情報：平成29年7～8月受理分

### 病害

なし

### 虫害

なし

### 獣害

なし

(森林総合研究所 山中高史/佐藤大樹/岡 輝樹)

**森林防疫** 第66巻第5号(通巻第722号)  
平成29年9月25日 発行(奇数月25日発行)

編集・発行人 佐藤重芳  
印刷所 松尾印刷株式会社  
東京都港区虎ノ門 5-8-12  
☎ (03) 3432-1321

定価 1,339円(送料込, 消費税込)  
年間購読料 6,696円(送料込, 消費税込)

発行所 全国森林病虫獣害防除協会  
National Federation of Forest Pests Management  
Association, Japan

〒101-0047 東京都千代田区  
内神田 1-1-12(コープビル)

☎ (03) 3294-9719 FAX (03) 3293-4726

振替 00180-9-89156

<http://bojyokyokai.main.jp/>