
 論 文

クロマツ小径木のマツノマダラカミキリの繁殖にとっての資源的有効性

曾根 晃一¹⁾・富吉 啓太¹⁾・大久保 恵介²⁾・林崎 泰²⁾・平田 令子³⁾・畑 邦彦¹⁾

Resource available of small-sized Japanese black pine, *Pinus thunbergii*, for reproduction of the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae)

SONE Koichi¹⁾, TOMIYOSHI Keita¹⁾, OHKUBO Keisuke²⁾, HAYASHIZAKI Dai²⁾, HIRATA Ryoko³⁾ and HATA Kunihiko¹⁾

- 1) 鹿児島大学農学部 〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-24
Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Korimoto, Kagoshima 890-0065.
- 2) 鹿児島大学大学院農学研究科 〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-24
Graduate School of Agriculture, Kagoshima University, Korimoto, Kagoshima 890-0065.
- 3) 宮崎大学農学部 〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1
Faculty of Agriculture, Miyazaki University, Gakuen Kibanadai Nishi 1-1 889-2192

Received Sep 8, 2014 / Accepted Sep 16, 2014

Summary

We studied the oviposition pattern and the population dynamics of the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus*, on young small-sized trees of Japanese black pine wilted in 2008 and 2009. The oviposition scars were concentrated at the lower part of tree trunk, where the bark was thicker. Adult females laid eggs at about 50% (52.3% in 2008, 57.3% in 2009) of oviposition scars. Hatchability of deposited eggs was 88.9% in 2008 and 95.1% in 2009. The oviposition ratio and hatchability of eggs in this study did not differ from those reported by mature large-sized pine trees. The mortality rate of larvae under bark was 16.6% in 2008 and 48.8% in 2009. The mortality rate of the insect in the wood was 75.3% and 91.7% for the 2008 and 2009 population, respectively. The total mortality from hatch to adult emergence was 81.6% for the 2008 population and 95.7% for the 2009 population, which was higher than those reported by mature large-sized pine trees. These results suggest that young small-sized pine trees are less valuable for reproduction of the insect than mature large-sized pine trees. The situation where the insect should utilize only small-sized pine trees for reproduction since 2006 might partly explain the sudden decline in the number of the insect and the pine wilt disease in Sakurajima after 2010.

Key words: small-sized Japanese black pine, Sakurajima, resource availability, reproduction, the Japanese pine sawyer

キーワード：クロマツ小径木, 桜島, 資源的有効性, 繁殖, マツノマダラカミキリ

I. はじめに

マツ材線虫病は、マツノザイセンチュウ (*Bursaphelenchus xylophilus*) (以下センチュウ) がマツの樹体内に侵入することで発病する (清原, 1970; 清原・徳重, 1971)。現在, 日本では北海道を除く46都府県で, マツ材線虫病による被害が確認されている (Mamiya, 1988; 木村ら,

2011)。

1970年代の終わりから1980年代の初めにかけて, 鹿児島県桜島に隣接している大隅半島の垂水市では, マツ材線虫病により毎年2,500~3,000m³のクロマツが枯死していたのではないかと推測されているが, 桜島での毎年の被害量は10m³以下にすぎなかった。その後も, 桜島での被害量は1986年までは枯損量は低レベルで推移し, 1987年から1993

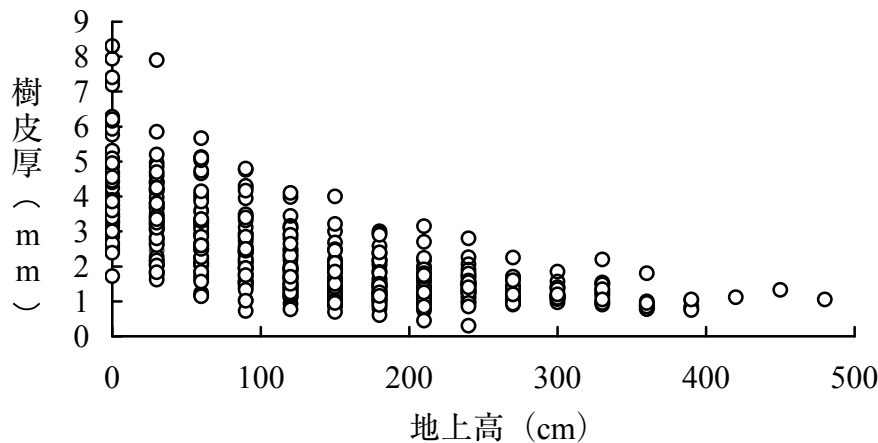


図-1 2008年度枯死木の樹皮厚の垂直分布

年までは全く被害は発生しなかった。ところが、1994年に桜島東部の赤水、野尻、持木の3カ所で、35m³のクロマツがマツ材線虫病により枯死した。鹿児島県の統計によると、1995年の被害量は18m³とやや減少したが、1996年以降増加に転じ、1996年は101m³、1997年は317m³、1998年は527m³、1999年は1,260m³、2000年は2,000m³と増加し続け、2001年は13,400m³と1万 m³を超え、被害が島内全域のクロマツ林に拡大した(曾根ら, 2002)。被害量はその後も増加し続け、2004年には最大となった(25,800m³)。2005年以降、被害量は緩やかに減少し、2009年には12,400m³まで低下した。ところが、2010年に被害量は550m³まで激減し、その後2011年は100m³、2012年は22m³、2013年は11m³(鹿児島県調べ)と、現在では桜島でのマツ材線虫病はほぼ終息している。

桜島では、1994年以降のクロマツの枯死は、大径木から始まった。2006年までに島内で多数生育していた胸高直径が30cm、樹高20m 近くないしはそれ以上のクロマツ大径木の多くが、マツ材線虫病により枯死した。そして、その後はサイズの小さいクロマツに被害が移行した(鹿児島大学森林保護学研究室, 未発表)。

鹿児島大学森林保護学研究室では、1997年より桜島での被害状況、カミキリの生息状況やセンチウ保存状況、センチウの病原性、クロマツのマツ材線虫病に対する抵抗性などの調査を行ってきた(曾根ら, 2002; 曾根ら, 2010; 大久保ら, 2010; Sone et al., 2013)。日本では、マツノマダラカミキリ(*Monochamus alternatus*) (以下カミキリ)成虫がセンチウを健全なマツへと伝搬する(森本・岩崎, 1971; Mamiya and Enda, 1972) ことにより、マツ材線虫病は発生する。したがって、カミキリの個体群動態は、マツ材線虫病の推移に著しい影響を持つといえよう。これまでも、カミキリによる加害部位や加害木内で

の個体群動態は調査されてきたが、比較的サイズの大きいマツを対象としたものがほとんどで(家入, 1973; 越智・片桐, 1979; 岩崎・竹谷, 1980; 竹常, 1983; 在原, 1984; 井上, 1985; 柴田, 1989; Togashi, 1990), 小径木におけるカミキリの個体群動態はほとんど報告されていない。被害が大径木の消失後小径木に移行した桜島では、カミキリの小径木での後食や繁殖成功が、桜島におけるマツ材線虫病の被害動向に著しい影響を持つと考えられる。そこで、桜島で新たに枯死したクロマツ小径木におけるカミキリの産卵状況や繁殖状況を調査し、小径木のカミキリの繁殖のための資源としての有用性を評価するとともに、桜島でのカミキリの個体数レベルと被害の減少に果たす役割について考察した。

II. 材料

2009年1月28日と3月18日に、カミキリの産卵痕がある2008年にマツ材線虫病により枯死したクロマツ(2008年度枯死木)39本を、鹿児島大学農学部附属演習林桜島溶岩実験場(鹿児島市桜島町横山)で伐倒した。供試木の平均樹高は3.29±0.76 (SD) m (1.80~4.65m)、平均胸高直径は3.9±1.8cm (1.1~6.5cm)であった。桜島では、直径2cm以上の樹幹や枝で、カミキリの繁殖が確認されている(鹿児島大学森林保護学研究室, 未発表)。そこで、直径2cm以上の樹幹の長さ(以後、樹幹長(D>2cm))も測定した。樹幹長(D>2cm)の平均は2.4±0.8m (0.7m~4.5m)、平均地際直径は6.8±1.8cm (3.8~11.9cm)であった。地際から30cmごとに樹皮厚を測定したところ、樹皮は地際部で最も厚く、樹幹上部に向かって薄くなった(図-1)。平均樹皮厚は地際部で4.4±1.1mm、地上1.2mの部位では1.9±0.9mm、地上2.4mの部位では1.5±0.8mm、それ以上の部

位では0.8~1.3mmの間で推移した。当年生や2年生の新梢主軸部の部分(1.0~3.7m以上)では、樹皮は粗皮化していなかった。

2009年度は産卵直後の死亡をより詳細に追跡するために、2008年度より枯死木の伐倒時期を早め、2009年10月28日に、鹿児島大学農学部附属演習林桜島溶岩実験場で、産卵痕が確認されたその年のクロマツ枯死木(2009年度枯死木)10本を地際から伐倒した。供試木の平均樹高は 3.8 ± 0.7 m(2.6~4.8m)、平均胸高直径は 5.0 ± 1.3 cm(3.3~7.2cm)、平均樹幹長(D>2cm)は 3.0 ± 0.7 m(1.7m~4.0m)、平均地際直径は 8.1 ± 1.1 cm(6.8~10.1cm)であった。

Ⅲ. 調査方法

(1) 産卵痕の分布

2008年度枯死木の樹幹に透明のビニールシートを巻き付け、産卵痕の位置を写し取った。そして、産卵された産卵痕ごとに、最隣接産卵痕(産卵確認済み)間距離を求めた。その際、最隣接産卵痕が産卵から孵化に至る状態が判断できない産卵痕だった場合、その産卵痕間距離は測定しなかった。

(2) 産卵から成虫脱出までの死亡過程

2008年度枯死木と2009年度枯死木の産卵痕数を計数した。それぞれの産卵痕の周辺を約1×1cm剥皮し、カミキリ幼虫の食痕が存在した場合は「孵化」、卵は存在したが食痕が存在しなかった場合を「未孵化」、卵も食痕も存在しなかった場合を「未産卵」として記録した。「孵化」と「未孵化」の産卵数の和を産卵数、「孵化」の産卵痕数を孵化数とした。しかし、剥皮の際に、別の産卵痕で孵化した幼虫の摂食により、産卵から孵化に至る状態が判断出来ないものがあつた。この場合は、摂食した幼虫が孵化したと思われる産卵痕と合わせて、孵化数1とした。

その後、枯死木を鹿児島大学郡元キャンパス(鹿児島市郡元)にある鹿児島大学農学部附属演習林本部実験苗畑内の網室に移し、毎日カミキリ成虫の脱出の有無を確認した。成虫の脱出が終了した後、枯死木ごとに、穿入孔、脱出口、そして穿入孔の見られなかった食痕を計数した。すべての穿入孔付近の材を割材し、蛹室内で死亡した個体の発育ステージを記録した。割材調査は、2008年度枯死木については2009年10月下旬以降、2009年度枯死木については2010年9月上旬に実施した。各坑道の材内への穿入から成虫の脱出に至る過程を、蛹室が存在しなかった「穿入孔のみ」、蛹室は未完成で、先入孔に木くずのなかった「蛹室形成途中」、蛹室は完成していたが、脱出口が存在しなかつ

た「蛹室形成」、脱出口が存在した「脱出」4つに分類した。また、死亡したステージを記録するにあたっては、坑道や蛹室に死骸が存在した場合はそのステージを記録した。死骸が存在しなかった場合、「蛹室形成」では発育ステージが幼虫、蛹、成虫のいずれか判断できなかったので「不明」、「蛹室形成途中」と「穿入孔のみ」では幼虫での死亡として記録した。

(3) データ解析

産卵痕数や産卵痕密度と、樹幹表面積、胸高直径、樹幹長(D>2cm)との関係を明らかにするため、線形回帰を行い、相関係数を求めた。樹幹表面積は以下のようにして求めた。

$$\text{樹幹表面積} = (\text{直径2cm 部位の樹幹周囲長} + \text{地際部の樹幹周囲長}) \times \text{樹幹長} (D > 2\text{cm}) / 2$$

産卵状況を樹幹の部位間で比較するため、それぞれの2009年度枯死木の樹幹を上部、中部、下部に3等分し、各部位で計算した単位樹幹表面積あたりの産卵密度(個/100cm²)について分散分析を行い、有意差が見られた場合は Scheffe 法により多重比較を行った。

個体群動態に関するデータ解析にあたり、産卵率、孵化率、樹皮下幼虫死亡率、材内死亡率、総死亡率を以下のようにして求めた。

$$\text{産卵率} = \text{産卵数} / \text{産卵痕数}$$

$$\text{孵化率} = \text{孵化数} / \text{産卵数}$$

$$\text{樹皮下幼虫死亡率} = (\text{孵化数} - \text{穿入孔数}) / \text{孵化数}$$

$$\text{材内死亡率} = (\text{穿入孔数} - \text{脱出口数}) / \text{穿入孔数}$$

$$\text{総死亡率} = (\text{産卵数} - \text{脱出口数}) / \text{産卵数}$$

2009年度枯死木の樹幹部位間での総死亡率を、分散分析を用いて比較した。

Ⅳ. 結果

(1) クロマツ小径木での産卵実態

2008年度枯死木での産卵痕数は、樹幹表面積、胸高直径、樹幹長(D>2cm)との間に正の相関を示した(対樹幹表面積: $r = 0.727$, 対胸高直径: $r = 0.689$, 対樹幹長(D>2cm): $r = 0.469$, いずれの場合も $P < 0.01$)。一方、産卵痕密度は、樹幹表面積、胸高直径、樹幹長(D>2cm)との間に有意な相関は示さなかった(対樹幹表面積: $r = 0.195$, 対胸高直径: $r = 0.294$, 対樹幹長(D>2cm): $r = -0.012$, いずれの場合も $P > 0.05$)。

枯死木の各樹幹部での産卵痕数と産卵痕密度は、枯死木間でかなりの変動が見られた。枯死木あたりの各樹幹部での平均産卵痕数は、樹幹下部で多く、樹幹上部に向かって

表-1 2008年度枯死木における産卵痕数と産卵痕密度の垂直分布

地上高 (cm)	産卵痕数(/樹木)		産卵痕密度(/100cm ²)		供試 本数
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
0-30	4.79	3.73	0.78	0.71	39
30-60	5.56	5.25	0.88	0.79	39
60-90	4.21	4.66	0.68	0.74	39
90-120	4.05	5.06	0.67	0.73	38
120-150	2.80	4.40	0.49	0.64	35
150-180	2.29	3.49	0.44	0.59	34
180-210	1.29	2.09	0.25	0.40	28
210-240	1.48	1.86	0.44	0.62	21
240-270	0.79	1.12	0.19	0.28	14
270-300	0.50	0.97	0.15	0.32	10
300-330	0.11	0.33	0.03	0.08	8
330-360	0.00	0.00	0.00	0.00	5
360-390	0.00	0.00	0.00	0.00	3
390-420	0.50	0.71	0.18	0.25	2
420-450	0.00		0.00		1
450-480	0.00		0.00		1

減少した。同様の傾向は、産卵痕密度でも見られた(表-1)。いずれの値も、地上1.2m以下の部位で高く、平均樹皮厚が1.5mm以下の地上3m以上の部位では、産卵はほとんどみられなかった(表-1)。

図-2に、2008年度枯死木ごとの産卵痕密度と最隣接産卵痕間距離の平均値の関係を示す。最隣接産卵痕間距離は、産卵痕密度が増加するにつれて減少した。しかし、減少の程度は産卵痕密度が低いときのほうが顕著で、密度が高くなるにつれ最隣接産卵痕間距離の減少は小さくなり、ほぼ一定の値(4~5cm)に収斂した。

2009年度枯死木での産卵痕数は、樹幹表面積との間に有意な正の相関がみられた($r = 0.724$, $P < 0.05$)。胸高直径や樹幹長($D > 2\text{cm}$)との間にも正相関が見られたが、相関自体は有意ではなかった(対胸高直径: $r = 0.553$, 対樹幹長($D > 2\text{cm}$): $r = 0.471$, いずれの場合も $P > 0.05$)。産卵痕密度と樹幹表面積、胸高直径、樹幹長($D > 2\text{cm}$)との間には有意な相関がみられなかった(対樹幹表面積: $r = 0.199$, 対胸高直径: $r = 0.037$, 対樹幹長($D > 2\text{cm}$): $r = -0.040$, いずれの場合も $P > 0.05$)。産卵痕は、67.1%が樹幹下部に集中し、地際近くにも多くの産卵痕が確認された(写真-1)。樹幹中部では29.4%、樹幹上部では3.5%が確認された(表-2)。産卵密度は、樹幹下部が $0.91 \pm 0.43/100\text{cm}^2$ ($0.37 \sim 1.76/100\text{cm}^2$)、樹幹中部が $0.43 \pm 0.34/100\text{cm}^2$ ($0 \sim 1.18/100\text{cm}^2$)、樹幹上部が $0.17 \pm 0.32/100\text{cm}^2$ ($0 \sim 1.03/100\text{cm}^2$)で、樹幹上部の産卵密度は、樹幹中部と下部の密度より有意に低かった($F = 9.251$, $P = 0.0009$, Scheffe法による多重比較, 上部対中部: $P <$

0.05 , 上部対下部: $P < 0.01$)。

(2) カミキリの繁殖状況

2008年度枯死木では、全部で983個の産卵痕が確認され、そのうち523個で産卵されていた。その結果、産卵率は53.3% (樹木単位では $50.6 \pm 17.3\%$, $0 \sim 100\%$)と推定された。産卵が確認された523個の産卵痕の88.9% ($82.5 \pm 27.4\%$, $0 \sim 100\%$)にあたる465個で孵化が確認された。総穿孔数と総脱出口数は、それぞれ388個と96個で、樹皮下死亡率は16.6% ($19.9 \pm 23.9\%$, $0 \sim 75.8\%$)、材内死亡率は75.3% ($66.1 \pm 32.6\%$, $0 \sim 97.3\%$)、総死亡率は81.6% ($71.1 \pm 29.3\%$, $0 \sim 100\%$)と推定された。

2009年度枯死木では、総産卵痕数は602、総産卵数は345、総孵化数は328、総穿孔数は168、総脱出口数は14で、産卵率は57.3% ($57.5 \pm 14.4\%$, $28.0 \sim 75.8\%$)、孵化率は95.1% ($95.6 \pm 4.0\%$, $91.2 \sim 100\%$)、樹皮下死亡率は48.8% ($48.9 \pm 26.1\%$, $9.1 \sim 85.7\%$)、材内死亡率は91.7% ($81.8 \pm 26.1\%$, $0 \sim 100\%$)、総死亡率は95.9% ($95.1 \pm 4.6\%$, $85.7\% \sim 100\%$)であった。材内死亡は、幼虫が全体の61.0%、蛹が3.2%、成虫が6.5%を占め、29.2%では発育ステージが特定できなかった(表-3)。また、幼虫の死亡個体のうち蛹室完成前のものが28.6%、蛹室完成後のものが61.7%であった(表-4)。樹幹上部、中部、下部での樹木あたりの総死亡率は、それぞれ $81.3 \pm 23.9\%$, $93.2 \pm 16.6\%$, $96.6 \pm 5.2\%$ で、樹幹の下部ほど高い値を示したが、樹幹の部位間で有意差はなかった($F = 0.274$, $P = 0.763$)。産卵と孵化した幼虫(孵化卵)は、樹幹下部で約70%、中部で25~30%、上部で4%が記録されたが、穿孔孔と脱出口の樹幹下部、中部、上部での割合は、それぞれ46.4%、45.2%、8.3%と50.0%、28.6%、21.4%で、卵期の値に比べ樹幹下部での割合が低下し、中部と上部の割合が増加した(表-2)。

V. 考察

(1) クロマツ小径木での産卵実態

産卵痕数は、2008年度枯死木と2009年度枯死木で、樹幹表面積との間で有意な正相関が、胸高直径や樹高の間では2008年度枯死木のみで有意な正の相関がみられた。しかし、産卵痕密度と樹高、樹幹表面積、胸高直径との間には有意な相関がみられなかった。これらの結果は、カミキリは小径木の中ではよりサイズの大きい、そして幼虫の利用可能な樹幹表面積の大きいクロマツに多く産卵する傾向があったが、カミキリがサイズの大きいクロマツに対する産卵嗜好性を持っているのではなく、今回見られた小径木間

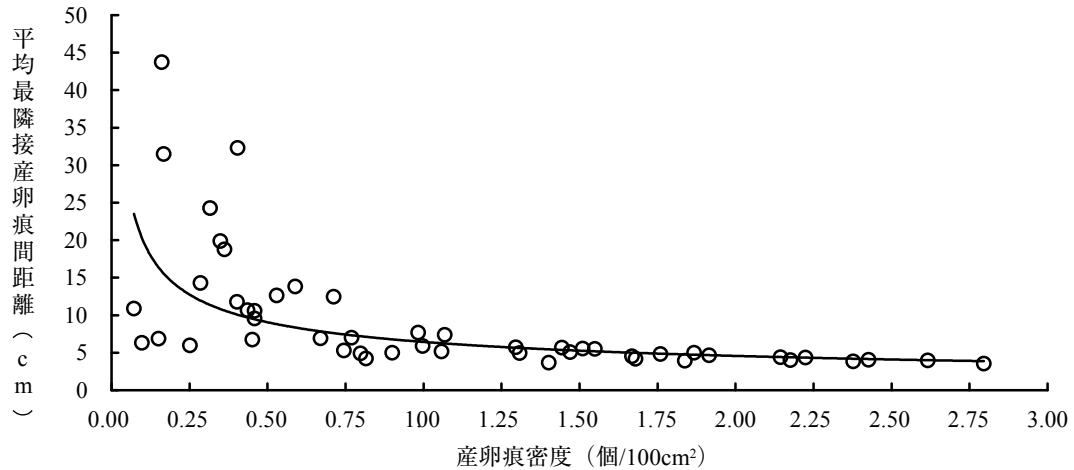


図-2 2008年度枯死木における産卵密度と平均最隣接産卵痕間距離の関係

図中の曲線は累積近似法によるデータの近似線

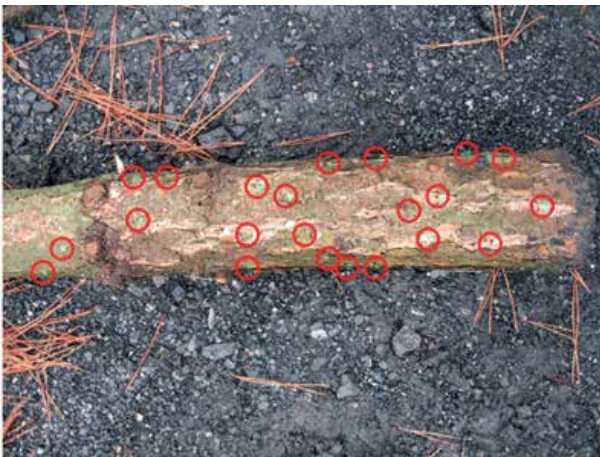


写真-1 地際部付近に見られた産卵痕(赤丸で囲ったもの)

表-2 2009年度枯死木の樹体内における産卵痕、卵、孵化卵、穿入孔、脱出口の垂直分布(単位は全て%)

部位	産卵痕	卵	孵化卵	穿入孔	脱出口
上部	3.5	3.5	3.7	8.3	21.4
中部	29.4	23.5	24.1	45.2	28.6
下部	67.1	73.0	72.2	46.4	50.0

での産卵数の差は、単にクロマツのサイズの差を反映していたことを示唆している。

産卵痕密度は樹幹下部で高く、樹幹上部に向かって低下した。そして、地上3m以上の部位では、産卵痕はほとんどみられなかった。家入(1973)は、樹高8mと8.5mのマツでは、産卵痕は地際部と樹幹上部に少なく中央部に多いと報告している。また、岩崎・竹谷(1980)によると、カミキリは粗皮化していない部分にはほとんど産卵しない。今回調査した小径木では、地際部や樹幹下部で樹皮は比較

表-3 2009年度枯死木での材内死亡の発育ステージ別頻度

ステージ	個体数	相対頻度(%)
幼虫	94	61.0
蛹	5	3.2
成虫	10	6.5
不明(蛹室形成)	45	29.2

表-4 2009年度枯死木での材内死亡の材内状況別頻度

蛹室状況	個体数	相対頻度(%)
蛹室形成前	44	28.6
蛹室形成後	95	61.7
脱出直前	15	9.7

的厚く(平均樹皮厚は地際部で約4.4mm、地上1.2mの部位で約1.9mm)、樹皮は粗皮化していた。それに対し、樹幹上部では樹皮は薄く(地上3.6mの部位では約1.0mm)、当年生や2年生新梢主軸部(地上1.0~3.7m以上)では、樹皮のほとんどが粗皮化していなかった。したがって、小径木では、粗皮化していない樹幹上部より、粗皮化している地際部が産卵に適していたと考えられる。そのため、カミキリは、小径木では大径木と異なり、地際部に多く産卵したと推察される。

平均最隣接産卵痕間距離は、産卵痕密度の増加とともに減少し、4~5cmに収斂した。柴田(1989)も、最隣接産卵痕間の最短距離は、産卵痕密度が高くなったら減少し、最後はほぼ一定の値(約5cm)になると報告している。このメカニズムについて、Anbutsu and Togashi(2000)は、カミキリ成虫は産卵後腹部末端からゼリー状の物質を産卵痕にこすりつけ、他のメス成虫は産卵痕を触診することで、産卵有無を認知し、産卵された産卵痕付近での産卵を

避けると報告している。

(2) カミキリの繁殖状況と繁殖資源としての有用性

本調査では、産卵率は2008年枯死木では52.3%、2009年度枯死木では57.3%であった。これらの値は、大径木で調査した柴田(1989)の50.8%、竹常(1983)の40.9~86.1%、井上(1985)の33.7~72.4%と大きな差はなかったが、在原(1984)の62.6%よりやや低く、Togashi(1990)の34.1~41.0%よりやや高かった。2008年度枯死木と2009年度枯死木における孵化率は、それぞれ88.9%と95.1%と高かった。これらの値は、大径木で調査された竹常(1983)の79.1~93.9%、在原(1984)の95.6%、井上(1985)の94.6~99.4%と著しい差はなかった。これらの結果から、樹木のサイズは、樹皮につけた産卵痕に産卵するか否かの決定や、産みつけられた卵の孵化に影響していなかったことがわかる。

今回の調査では、2008年度枯死木の樹皮下死亡率は16.6%、材内死亡率は75.3%、総死亡率は81.6%となった。また、2009年度枯死木の樹皮下死亡率は48.8%、材内死亡率は91.7%、総死亡率は95.9%であった。2008年度枯死木の樹皮下死亡率は、これまで大径木で報告されている竹常(1983)の7.4~28.9%、在原(1984)の28.0%、井上(1985)の1.9~21.1%とほぼ等しかったが、2009年度枯死木の樹皮下死亡率は、これらの値より高かった。2008年度枯死木と2009年度枯死木における材内死亡率は、それぞれ75.3%と91.7%であった。大径木での材内死亡率は、竹常(1983)が10.0~71.3%、在原(1984)が17.1%、井上(1985)が37.0~64.4%と報告しており、2009年度枯死木での値はこれらの値より高かった。桜島で枯死した直径10~20cmのクロマツでの値は、38.4~54.5%であった(鹿児島大学森林保護学研究室、未発表)。2009年度枯死木の材内死亡は、幼虫が全体の約6割を占め、幼虫の死亡個体中、蛹室完成前のものが約3割、蛹室完成後のものが約6割であった。これらのことから、2009年度枯死木では、カミキリの多くは木部への穿入から蛹化までに死亡したことがわかる。

総死亡率は、2008年度枯死木では81.6%、2009年度枯死木では95.9%と高かった。大径木では、越智・片桐(1979)は71%、Togashi(1990)は65.2~85.3%、在原(1984)は43%、井上(1985)は44~64%、竹常(1983)は48~71%と報告している。これらのうち、Togashi(1990)は、今回と同様、産卵数をもとに計算しているが、越智・片桐(1979)、在原(1984)、井上(1985)、竹常(1983)は、産卵痕数をもとに計算しているため、産卵数をもとにした場合は、総死亡率はより低くなる。これらの結果から、小径木での各ステージでの死亡率は、大径木で報告されている

ように、年度や枯死木間でばらつきがあるが、カミキリの産卵から羽化・脱出までの総死亡率は、大径木よりも高くなる傾向があり、小径木のカミキリの繁殖資源としての価値は、大径木より劣ると考えられる。

樹木のサイズが小さいことによる幼虫の餌不足や、産卵が樹幹下部に集中することによる幼虫間の種内競争の激化などが、小径木での高い総死亡率の原因の一つとして考えられる。幼虫間の種内競争の激化は、産卵密度の高い樹幹下部で総死亡率が高くなる傾向がみられたことや、卵期に比べ、樹幹下部への集中傾向が穿入孔や脱出口では弱くなったことから推察できる。ただ、樹幹下部で孵化した幼虫の樹幹上方への移動したことにより、穿入孔や脱出口の樹幹下部への集中傾向が低下した可能性も否定できない。

また、樹皮が薄く、材積に対する樹幹表面積が大きい小径木では、日光が直接当たると材内の温度が大径木より上昇しやすいことも、小径木でのカミキリの高死亡率の原因となっている可能性がある。谷脇(2008)は、直射日光の当たらない林内では、夜間・日中ともに材内の人工蛹室内気温と外気温に大きな違いはないが、直射日光が当たると材内の気温は外気温以上になることを、高橋(2007)は、カミキリの幼虫や蛹は50℃前後から死亡しはじめ、55℃以上では全て死亡すると報告している。

今回の調査を通して、小径木でも、樹皮の比較的厚い樹幹下部に産卵することにより、カミキリは繁殖が可能であることが明らかになった。しかし、孵化から羽化・脱出までの総死亡率は、大径木に比べ高く、小径木の繁殖資源としての価値は大径木より低いと考えられた。さらに、小径木では、大径木に比べ幼虫が利用できる樹幹表面積も狭いので、寄主個体あたりの繁殖数はかなり少なくなる。大径木のほとんどが枯死してしまった2006年以降は、カミキリは小径木を利用して繁殖せざるを得ず、このような状況が続くと、カミキリの個体数は急速に減少していくことが予想される。実際、桜島での生け捕り用に改良した誘引トラップ(中村ら、1999;中村・曾根、2004)によるカミキリの捕獲数は、2010年以降急激に減少した(鹿児島大学森林保護学研究室、未発表)。大径木の多くが枯死し、資源的価値の低い小径木を利用せざるを得なかったことが、桜島におけるカミキリの生息数の減少を引き起こし、マツ材線虫病の急激な終息の一因となっていたのではないかと考えられる。

引用文献

Anbutsu, H. and Togashi, K. (2000) Deterred oviposition

- response of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) to oviposition scars occupied by eggs. *Agr. & For. Ent.* 2: 217–223.
- 在原登志男 (1984) 松の枯損防止新技術に関する総合研究. 福島県林試研報 16: 1–22.
- 家入忠 (1973) マツノマダラカミキリの産卵部位. 日林九支研論 26: 217–218.
- 井上悦甫 (1985) マツノマダラカミキリの個体数変動とその要因. 岡山県林試研報 6: 46–61.
- 岩崎厚・竹谷 昭彦 (1980) マツノマダラカミキリに関する研究 XXXII. 日林九支研論 33: 111–112.
- 木村公樹・相川拓也・山本貴一・前原紀敏・市原優・今純一・中村克典 (2011) 青森県蓬田村に発生したマツ材線虫病被害木におけるマツノザイセンチュウの検出および媒介昆虫の加害状況. 東北森林科学会誌 16: 7–11.
- 清原友也 (1970) クロマツ生立木に対するマツ材線虫の接種. 日林九支研論 24: 243–244.
- 清原友也・徳重陽山 (1971) マツ生立木に対する線虫 *Bursaphelenchus* sp. の接種試験. 日林誌 53: 210–218.
- Mamiya, Y. (1988) <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2618808/pdf/219.pdf>
- Mamiya, Y. and Enda, N. (1972) Transmission of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoididae) by *Monochamus alternates* (Coleoptera: Cerambycidae). *Nematologica* 18: 159–162.
- 森本桂・岩崎厚 (1971) マツノマダラカミキリによるマツノザイセンチュウの伝播. 日林九支研論 25: 165–166.
- 中村克典・曾根晃一 (2004) 捕獲虫の逃亡を抑制するためのマツノマダラカミキリ生け捕り用トラップの捕虫容器の改良. 九州森林研究 57: 110–112.
- 中村克典・曾根晃一・大隈浩美 (1999) サンケイ式昆虫誘引器を改良したマダラカミキリ生け捕りトラップ. 応動昆 43: 55–59.
- 越智鬼志夫・片桐一正 (1979) 松枯損木でのマツノマダラカミキリの個体数変動とその要因. 林試研報 303: 125–152.
- 大久保恵介・林崎泰・畑邦彦・曾根晃一 (2010) クロマツ若齢林におけるマツノマダラカミキリ成虫の活動状況. 九州森林研究 63: 85–88.
- 柴田 叡一 (1989) マツノマダラカミキリの生態に関する比較研究. 奈良県林試研報 19 (別冊): 1–98.
- 曾根晃一・畑邦彦・佐藤嘉一・中村克典 (2002) 桜島におけるマツ材線虫の侵入, 拡大とその蔓延. 森林防疫 51: 141–146.
- Sone, K., Ohkubo, K., Matsuo, T., Hata, K. (2013) Spatial distribution pattern of pine trees killed by pine wilt disease in a sparsely growing, young pine stand. *J. Plant Studies* 2: 36–41.
- 曾根晃一・安田奈津子・大隈浩美・福山周作・永野武志 (2010) 桜島の溶岩台地に生育するクロマツのマツ材線虫病に対する抵抗性. 鹿大演研報 37: 29–36.
- 曾根晃一・北田義幸・榊原あおい・田中幸記・畑邦彦・佐藤嘉一 (2002) 桜島で捕獲されたマツノマダラカミキリから抽出されたマツノザイセンチュウの病原性. 鹿大演研報 30: 1–7.
- 高橋健太郎 (2007) マツノマダラカミキリの死亡する温度 (その2). 岩手県林業技術センター研究成果速報 No. 228.
- 竹常明仁 (1983) マツノマダラカミキリの個体数変動調査と天敵生物による防除試験. 広島県林試研報 18: 39–62.
- 谷脇徹 (2008) 裸地と林内に置いたマツ材線虫病被害材内の温湿度環境. 日林誌 90: 253–256.
- Togashi, K. (1990) Life table for *Monochamus alternatus* HOPE (Coleoptera, Cerambycidae) within dead trees of *Pinus thumbergii*. *Jpn. J. Ent.* 2: 217–230.

要旨

鹿児島県桜島では、1994年に7年ぶりに再発したマツ材線虫病は、2004年にピーク達した後は、2009年までは徐々に、そして2010年以降急激に減少した。その過程で、2006年までにクロマツ大径木はほとんどが枯損し、それ以降被害は若齢の小径木に移行した。小径木でのカミキリの繁殖、個体群動態は、マツ材線虫病の2006年以降の変化に大きな影響を与えていると考えられた。そこで、桜島で2008年と2009年の加害で枯死したクロマツ小径木でのカミキリの産卵活動や個体群動態を調査した。産卵は、大径木と異なり、樹皮が比較的厚い樹幹下部に集中した。産卵密度も樹幹下部で高く、上部に向かって低くなった。2008年度と2009年度の産卵された産卵痕の割合 (52.3%, 57.3%) やふ化率 (88.9%, 95.1%) は、これまで大径木で報告された値と大きな差はなかった。2008年度枯死木の樹皮下死亡率は16.6%, 材内死亡率は75.3%, 産卵から羽化・脱出までの総死亡率は81.6%となった。また、2009年度枯死木の樹皮下死亡率は48.8%, 材内死亡率は91.7%, 総死亡率は95.9%であった。総死亡率は、これまで大径木で報告された値より高い傾向が見られた。これらの結果から、カミキリは小径木でも繁殖可能であるが、クロマツ小径木のカミキリの繁殖のための資源的な価値は、大径木に比べ劣ると

考えられた。大径木が枯死した後、資源的価値の低い小径木でしか繁殖できなくなったことが、カミキリの個体数の減少を引き起こし、マツ材線虫病の急激な終息の一因となった可能性が考えられる。