

マツノマダラカミキリ脱出孔の時空間分布と材内温度

江崎功二郎

I はじめに

マツノマダラカミキリ *Monochamus alternatus* (以下、本種とする) は、マツ材線虫病の病原体であるマツノザイセンチュウ *Bursaphelenchus xylophilus* (以下、ザイセンチュウとする) の主要なベクターである (Mamiya and Enda 1972; 森本・岩崎 1972)。本種成虫は生命維持や性成熟などのために寄主の若年枝の樹皮を摂食する。そのため、後食防止薬剤の散布はマツ材線虫病の基幹技術となっている。近年、後食防止薬剤の残効延長に伴い散布回数が2回から1回になるなど散布回数が減少傾向にあり、本種成虫の発生時期の把握がさらに重要になっている。

メス成虫は、夏季に新しい枯死木や衰弱木の樹皮に産卵する。卵が約1週間でふ化し、幼虫は樹皮下を食べ生長するが、終齢幼虫になると材部に蛹室を形成し休眠する (遠田 1976)。越冬前の低温で休眠が消去され、春に蛹化・羽化し、野外に脱出する。石川県において成虫の脱出期間は6~8月まで続き、脱出のピークは6月20日前後である (富樫 1989; 江崎 2003)。越冬後、羽化までの発育には温度の影響が大きく (例えば、奥田 1973; 岸 1988; 谷脇 2008)、その発育零点は概ね11~13°Cの間にあり、50%の個体が羽化脱出するまでの有効積算温度500日程度とする報告が多いが、いずれも地域格差が大きいことが知られている (遠田 1976; 岸 1988; 井上 1998; 西村 2003)。さらに、同一林分や枯死木内であっても羽化脱出時期の個体差には、枯死木の立地環境や部位による日当たりや乾燥程度の違いが影響することが示唆されている (小林ら 1976; 谷脇 2008)。

本研究では、同一林分に調査木6本を海岸グループと内陸グループに分けて設置し、調査木ごとに脱出孔の出現日および樹体内での分布位置を調査し、地上高1~5mの材内温度を測定した。そして、グループ間の脱出時期の違いと材内温度の影響および、脱出孔の樹体内分布と脱出時期との関係を示した。

II 材料と方法

アカマツが優先する加賀市片野海岸マツ林

(36° 19.4' N, 136° 17.1' E, 標高 53 m) に調査木6本を、海岸線より約300 m離れた海岸グループと、約1,100 m離れた内陸グループに3本ずつ分けて設置した (図-1)。調査木の調査範囲は地上高0.0~6.0 mとし、この範囲の側枝は切断した。海岸グループの胸高直径および樹高はそれぞれ12.3-15.0 cmおよび6.9-8.1 mで、内陸グループはそれぞれ10.5-13.9 cmおよび8.0-9.6 mであった。

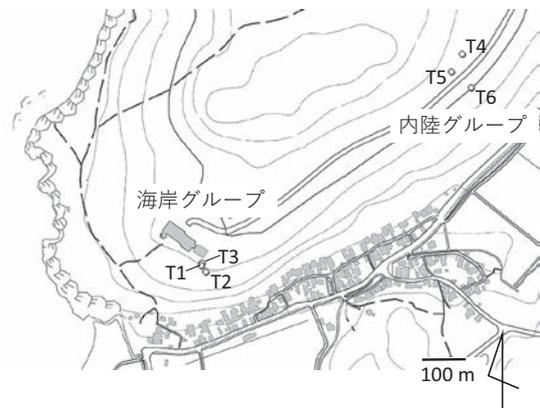


図-1 調査木の位置

国土地理院 電子基本図 (標準地図) に追記

本種の脱出孔 (図-2 左) の見落としを回避するため、2020年5月11~22日に調査木のすべての樹皮を剥皮し、穿入孔にクレヨンでマークした (図-2 左)。調査は長さ6 mの林業用ハシゴを使い樹幹表面に出現した脱出孔の直下にナンバーテープを付した (図-2 左)。5月25日~7月22日までに12回の調査を行った。

海岸グループの調査木に温度センサーを2020年3月19日に設置し3月20日から測定を行ったが、内陸グループは4月7日に設置し4月8日から測定を行った。地上高1 m、3 mおよび5 mの樹幹材内温度を温度センサー一体型データロガー (商品名: サーマクロンGタイプ) を用いて測定した。調査木の南中線を描き、20 mm径、深さ30 mmの穴を開け、穴の奥に温度センサーを各1個設置し、マツ枯死木の枝から造作した栓を20 mm押し込み穴を塞ぎ、凸部は切り落とした。7月22日まで2時間ごとに材内温度を自動計測した。外気温の測定は、海岸グループに隣接する建物の北東側に生育する樹木の地上高1 mに日よけカバーを設け、同様の温度センサーによって測定した。



図-2 成虫の脱出孔と内部構造

孔サイズは垂直 (v) と水平方向 (h) の平均直径とした。左図の穿入孔と脱出孔の関係はない。

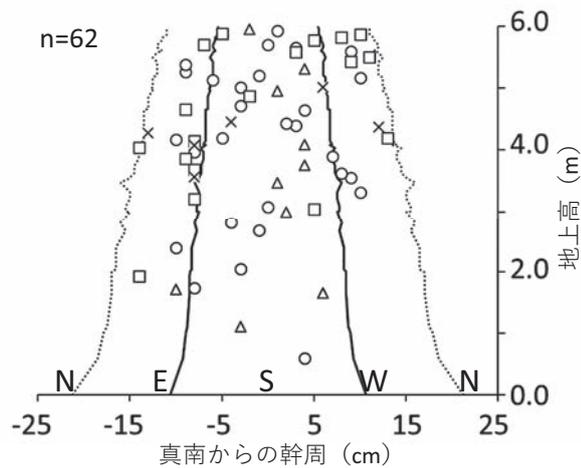


図-3 調査木 T5 における脱出孔の時空間分布

出現日；△：6月10日、○：6月15日、
□：6月21日、×：6月27日

図中下部の記号は方角を示す。

7月22日にすべての調査木を伐採し、これらを7月30日～8月13日に石川県農林総合研究センター林業試験場(白山市三宮町)へ搬出した。調査木ごとに各脱出孔の座標位置(地上高と南中線からの水平幹周距離)を測定した。また、成虫の脱出時期と体サイズとの関係を調査するために、調査木ごとに脱出孔の出現日と孔サイズについて相関係数を求めた。孔サイズは脱出孔の垂直(v)および水平方向(h)の長さを測定し、その平均値とした(図-2左)。ただし、脱出孔に繊維方向の割れなどが生じている際は、一方の測定値のみで代表した。

海岸グループと内陸グループの脱出孔数の季節消長の違いについて、出現日ごとの脱出孔数の度数分布を用いて Kolmogorov-Smirnov 検定を行った。グループごとの南側と北側の脱出孔数の違いについて、出現日ごとに χ^2 検定によって比較した。そして、これらの解析は脱出数が最も多かった調査木 T5 についても同様に行った。脱出孔の出現日と地上高の関係について、出現日をシリアル値に変換して相関係数を求めた。

本種幼虫の発育零点は江崎(2003)を参考に 12.0°C に設定し、日平均温度との差を積算して各温度の有効積算温量 300 日度および 500 日度の到達日を求めた。石川県では日平均気温がこの発育零点 12.0°C を超える日は概ね 4 月以降であるため、各グループの有効積算温量は 4 月 8 日を起点としたデータにより算出した。

III 結果

1. 脱出孔の季節分布

調査木 T1～6 において、2020 年 5 月 31 日～7 月 22 日までの間に 132 個の脱出孔が地上高 0.59～5.98 m までに分布した(表-1)。木あたり脱出孔数±標準偏差(最小-最大)は 22.0 ± 19.8 (10-62) 個であった(表-1)。海岸グループの調査木 T1、T2 および T3 における脱出孔数は 13、12 および 17 個で、初発日は 5 月 30 日、6 月 3 日および 6 月 10 日であった。そして、内陸グループの調査木 T4、T5 (図-3) および T6 における脱出孔数は 10、62 および 18 個で、初発日は 6 月 10 日、6 月 10 日および 6 月 15 日であった。海岸グループの脱出孔は内陸グループより早く出現する傾向があった(Kolmogorov-Smirnov 検定、 $p=0.004$) (図-4)。

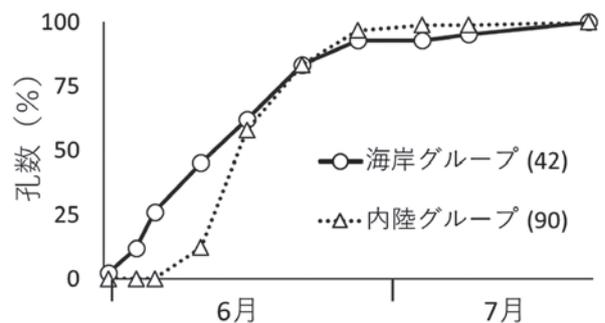


図-4 脱出孔の出現消長

() 中の数値は脱出孔数を示す。

表-1 調査木から出現した脱出孔の空間分布

調査木				脱出孔						
グループ	調査木	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	数	方向			地上高 (m)		
					南側	北側	南側比率	平均 ± 標準偏差	最小 - 最大	
海岸	T1	14.8	8.1	13	5	8	0.38	3.94 ± 0.94	2.33 - 5.62	
	T2	12.3	6.9	12	6	6	0.50	2.23 ± 0.49	1.12 - 2.82	
	T3	15.0	7.3	17	6	11	0.35	3.05 ± 1.15	1.11 - 5.13	
内陸	T4	13.9	8.0	10	8	2	0.80	5.37 ± 0.54	4.53 - 5.98	
	T5	11.4	9.6	62	25	37	0.40	4.17 ± 1.33	0.59 - 5.95	
	T6	10.5	8.5	18	9	9	0.50	3.86 ± 1.35	1.34 - 5.78	
	平均	13.0	8.1	22.0	9.8	12.2	0.45	3.87 ± 1.37	0.59 - 5.98	

表-2 材内の有効積算温量の到達日

グループ	調査木	300日度の到達日*						500日度の到達日*					
		地上高			外気温との日数差**			地上高			外気温との日数差**		
		1 m	3 m	5 m	1 m	3 m	5 m	1 m	3 m	5 m	1 m	3 m	5 m
海岸	T1	6月9日	6月11日	6月11日	-3日	-1日	-1日	6月29日	7月2日	7月1日	-2日	+1日	0日
	T2	6月3日	m.d.	6月9日	-9日		-3日	6月21日	m.d.	6月27日	-10日		-4日
	T3	m.d.	6月12日	m.d.		0日		m.d.	7月4日	m.d.		+3日	
内陸	T4	6月8日	6月10日	6月10日	-4日	-2日	-2日	6月28日	6月30日	6月29日	-3日	-1日	-2日
	T5	6月7日	6月8日	6月10日	-5日	-4日	-2日	6月26日	6月27日	6月30日	-5日	-4日	-1日
	T6	6月8日	m.d.	6月11日	-4日		-1日	6月26日	m.d.	7月2日	-5日		+1日
	外気温	6月12日						7月1日					

* 海岸グループおよび内陸グループは4月8日から測定した温度データから日平均気温を算出し、発育零点を12.0度とした有効積算温量300日度および500日度に達した月日を示した。

** 外気温における有効積算温量300日度および500日度の到達日と各測定場所の到達日の差を示した。m. d. は欠測値を示す。

2. 脱出孔の樹体内分布

調査木の南側および北側に出現した脱出孔数はそれぞれ5~25個および2~37個であった(表-1)。調査木の南側比率は0.35~0.80までみられたが、すべての調査木において方向の偏りは認められなかった(χ^2 検定、 $p>0.05$)。海岸グループおよび内陸グループにおける南側と北側脱出孔の季節消長に分布の違いは認められなかった(Kolmogorov-Smirnov検定、海岸グループ： $p=0.982$ 、内陸グループ： $p=0.987$)(図-4)。また、各調査木における脱出孔の出現日と地上高との間に相関は認められなかった($p>0.05$)。

出現した132個の平均脱出孔サイズ±標準偏差(最小-最大)は、 6.9 ± 0.7 (4.9-9.3)mmであった。調査木ごとの脱出孔サイズと出現期に相関は認められなかった($p>0.05$)。

3. 調査木 T5

内陸グループの調査木T5において、6月10日~6月27日の間に62個の脱出孔が出現し、6月15日にピークを示した(図-3、6)。出現した34個の

南側脱出孔は6月15日にピークを示した一方で、28個の北側脱出孔は6月21日にピークを示した。6月10日に出現した10個の南側比率は0.90(9/10)で南側に偏って脱出孔が出現したが($p=0.011$ 、 χ^2 検定)、6月15日に出現した28個の南側比率は0.64で偏りは明確ではなかった($p=0.131$ 、 χ^2 検定)(図-6)。しかし、6月21日に出現した18個の南側比率は0.28でやや北側に偏る傾向があった($p=0.059$ 、 χ^2 検定)。そのため、調査木T5における南側脱出孔の季節消長は北側脱出孔とは異なり、南側の脱出孔は北側より早く出現する傾向を示した(Kolmogorov-Smirnov検定、 $p=0.014$)(図-6)。

4. 材内温度

海岸グループは3月20日に温度測定を開始したが、内陸グループの開始日(4月8日)までに、外気温の有効積算温量が4.0日度であった。

4月8日を起点とした外気温の有効積算温量300日度および500日度の到達日は6月12日および7月1日であった。海岸グループおよび内陸グ

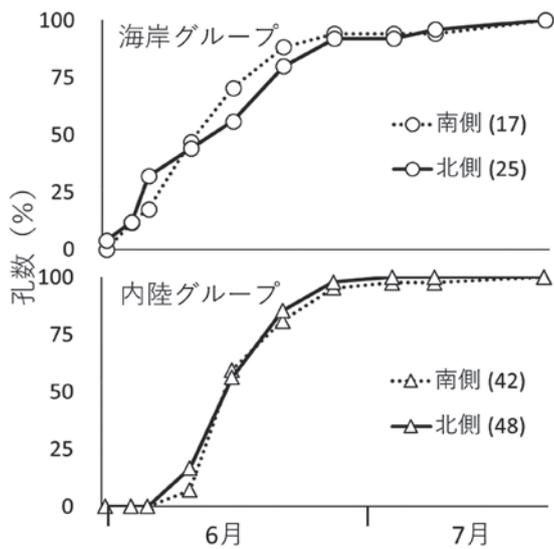


図-5 樹幹の南側と北側に出現した脱出孔の消長
()の中の数値は脱出孔数を示す。

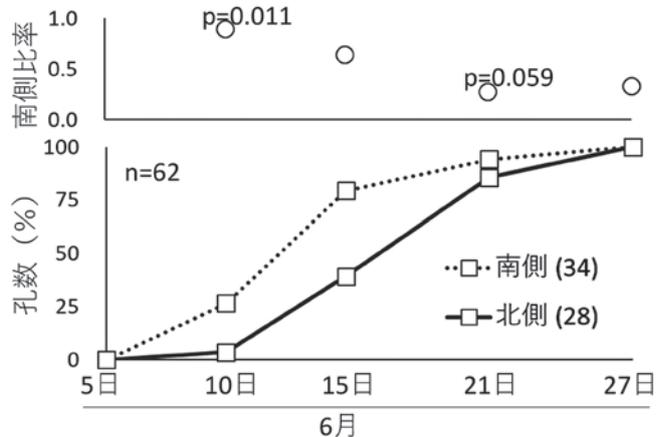


図-6 調査木 T5 における脱出孔の出現消長と南側比率

上図の p 値は χ^2 検定による。

グループにおいて、それぞれ3箇所および1箇所です。温度センサーの不具合により欠測値が生じた(表-2)。調査木における材内の有効積算温度300日度の到達日は概ね外気温より早く、それらは海岸グループおよび内陸グループでそれぞれ5箇所(5/6)および8箇所(8/8)であった(表-2)。調査木T2の1mにおける有効積算温度300日度の到達日は、外気温より9日早かったが、その他では5日以内であった(表-2)。また、外気温より早く有効積算温度500日度に到達した箇所は海岸グループおよび内陸グループでそれぞれ3箇所(3/6)および7箇所(7/8)あり、外気温より早く到達する傾向が維持された(表-2)高さ1mおよび5mの有効積算温度が算出できた調査木において、高さ1mにおける有効積算温度300日度の到達日は5mと比較して早くなる傾向があった(5/5)。

IV 考察

本種の多くの終齢幼虫は材表面からの深さは30mm以下の浅い場所に蛹室を形成し(江崎ら2021)、蛹室の上部末端より脱出坑道をやや水平方向に幹表面に向かって坑道を掘り、円形の脱出孔を形成する(図-2右)。そのため、調査木の表面に出現した脱出孔の位置は空間的に蛹室のおおよその位置を示している。

松くい虫被害地域における本種の羽化脱出時期は、薬剤散布などの防除事業の適期を把握するために

重要である。本種の羽化脱出には越冬後の有効積算温度が深くかかわっており、成虫が5月下旬から発生する関東地方では、その脱出初発日の有効積算温度は244~290日度の範囲内であり、50%脱出日は500日度程度であることが報告されている(遠田1975)。しかし、実際の発生林分における羽化脱出消長は施設の野外網室調査による消長とは異なることが指摘されており、鎌田(1978)は野外林分に立て掛けや倒伏した立木と網室に設置した丸太の脱出孔の合計1,629個について発生消長調査を行った結果、両者の消長に明らかな違いがあり、網室の調査では実際の林分の発生時期を誤る可能性を指摘した。さらに、谷脇(2008)は裸地と林内では直射日光のため丸太内温度に差が生じ、本種の発生消長が影響されることを示唆した。このことは裸地だけでなく、マツ林内で枯死木が発生すると萎凋・落葉に伴いギャップが形成され、枯死木の幹が直射日光に曝されるようになり、幹の材内温度が上昇する可能性があることを示唆している。本研究において、海岸線に近い南斜面に位置する海岸グループの脱出孔の初出現日は5月31日であり、海岸線より離れた林内の内陸グループの初出現日は6月10日であった。海岸グループの25%の脱出孔が内陸グループの初出現日まで出現し、海岸グループの脱出孔の出現消長は内陸グループより早く推移した(表-2、図-3)。しかし、海岸グループの調査木T2の地上高

1 m の材内温度は 6 月 1 日に有効積算温度 300 日度および 6 月 19 日に 500 日度に到達し、その他の 13 箇所と比較して最も早い到達日になったが、グループ間では到達日に明瞭な違いは認められなかった(表-2)。本種の羽化脱出には材の乾燥程度や脱出時の天候などの有効積算温量以外の要因の関与が示唆されており(小林ら 1976; 榎原・高梨 2006)、岸(1988)は、梅谷・山田(1973)が指摘したように昆虫の発育と温度から求められた発育零点や有効温量は目やす値であり、野外条件下で厳密に適用するには問題が多いということが本種にも当てはまることを述べた。本研究でも温度以外の要因の関与により、材内温度のみではグループ間の羽化脱出消長の違いを説明することができなかったと考えられる。

また、出現消長が異なった海岸と内陸グループに分けて、樹幹の南側と北側に出現した脱出孔との出現消長の比較した結果、2 方向の出現時期に違いは認められなかった(図-4)。しかし、脱出孔数が最も多かった調査木 T5(脱出孔数: 62 個)では、調査木の南側脱出孔の出現のピークは北側脱出孔より早く、早く出現する脱出孔ほど南側比率が高い傾向を示した(図-3、6)。この調査木では、枯死木樹幹の南側は直射日光の影響が大きく材内温度が上昇しやすい条件にあったため、南側に蛹室を形成した個体は北側の個体より早く発育し脱出したと考えられる。しかし、一般にはこの 2 方向に大きな温度差は生じにくいと考えられ、その他の要因の影響もあるため、2 方向の脱出時期の違いが生じる枯死木は多くないと思われる。

有効積算温量 300 日度の到達日は地上高 1 m が 5 m よりも僅かに早くなる傾向があり(表-2)、この序列は 500 日度到達日も同様であった。しかし、脱出孔の出現日と地上高の間に関係性は認められなかった。人工飼料を与えた飼育条件下においても休眠覚醒後に羽化脱出までの発育に必要な有効積算温量は個体によって大きくばらつくことが知られている(遠田 1975; 上田・遠田 1995)。そのため、地上高の違いに伴って生じた有効積算温量の到達日の違いは個体間のバイアスに比べて狭い範囲にあり、脱出消長に影響を与えなかったと考えられる。

ヒゲナガモモブトカミキリ *Acanthocinus griseus* において、羽化脱出日と体サイズとの間に相関が認められないことが知られている(江崎・山崎

1995)。本研究においても、本種の脱出孔出現日と孔径の間に相関は認められなかった。これらのことより、体サイズは羽化脱出時期に影響しないのかも知れない。

引用文献

- 江崎功二郎(2003) マツノマダラカミキリの発生消長. 石川県林試研報 34 : 47
- 江崎功二郎・山崎三郎(1995) 高知県におけるヒゲナガモモブトカミキリ *Acanthocinus griseus* (Fabricius) (Coleoptera: Cerambycidae) の羽化脱出消長と触覚長. 日林誌 77 : 86-88
- 江崎功二郎・川口エリ子・中村克典・前原紀敏・相川拓也・小澤壮太・米森正悟(2021) 上面および全面被覆式による伐倒くん蒸処理での MITC 濃度の経過とマツノマダラカミキリ幼虫の殺虫効果. 日林誌 103 : 186-191
- 遠田暢男(1975) マツノマダラカミキリの発育と温度の関係. 森林防疫 24 : 208-211
- 遠田暢男(1976) マツノマダラカミキリの生活史. 森林防疫 25 : 182-185
- 井上牧雄(1998) 鳥取県東部における最近 10 年間のマツノマダラカミキリの蛹化期と成虫の脱出消長. 鳥取県林試研報 36 : 19-27
- 鎌田盛義(1978) マツノマダラカミキリの消長調査について. 日林九支研論集 31 : 263-264
- 岸 洋一(1988) マツ材線虫病-松くい虫-精説. トーマス・カンパニー
- 小林一三・奥田素男・細田隆治(1976) マツ枯損木の乾燥程度、太さとマツノマダラカミキリの脱出、線虫保持数. 86 回日林論 : 239-240
- 榎原 寛・高梨琢磨(2006) マツノマダラカミキリの脱出時間. 57 回日林関東支論 : 227-231
- Mamiya Y, Enda N (1972) Transmission of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoididae) by *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). Nematologica 18 : 159-162
- 森本 桂・岩崎 厚(1972) マツノザイセンチュウ伝播者としてのマツノマダラカミキリの役割. 日林誌 54 : 177-183
- 西村正史(2003) 富山県におけるマツノマダラカミキリ成虫の脱出消長. 富林技研報 16 : 1-6
- 奥田素男(1973) マツノマダラカミキリの発育に関する温度別試験. 日林関西支講 24 : 146-149

- 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
- 富樫一巳 (1989) マツノマダラカミキリの個体群
動態とマツ材線虫病の伝搬に関する研究. 石川
県林試研報 20 : 1-142
- 上田明良・遠田暢男 (1995) マツノマダラカミキ
リの幼虫休眠と日長・温度の関係. 日林関西支
論 4 : 164-166
- 梅谷献二・山田偉雄 (1973) コナガの発育零点と
発育有効積算温量、およびその地理的差異. 応
動昆 17 : 19-24