岐阜県森林研研報 47（2018）：15-20

短　報

カシノナガキクイムシの穿入孔の分布および密度が繁殖成功度へ及ぼす影響

大 橋 章 博

Effects of distribution pattern and density of attack by the oak borer , *Platypus quercivorus* on reproduction success of the beetles

Akihiro Ohashi

岐阜県と静岡県から採取したコナラ被害丸太各 1 本について，丸太の表面にみられる穿入孔すべてに羽化トラップを設置し，カシノナガキクイムシの羽化脱出数を調査するとともに，穿入孔の分布様式を調査した。岐阜の丸太には 237 個の穿入孔がみられ，このうち 95 個の穿入孔から成虫が脱出した。丸太全体の脱出成虫数は 640 頭であった。静岡の丸太には 401 個の穿入孔がみられ，このうち 139 個の穿入孔から成虫が脱出した。丸太全体の脱出成虫数は 2,777 頭であった。丸太間で穿入孔や繁殖に成功した穿入孔の空間分布に大きな差は認められなかった。穿入密度と繁殖成功度との関係は，岐阜の丸太では穿入孔密度の増大とともに繁殖成功度は低下したが，静岡の丸太では変化しなかった。また，繁殖に成功した穿入孔密度と繁殖成功度の関係は，岐阜の丸太では繁殖に成功した穿入孔数が増加しても繁殖成功度は変化しなかったが，静岡の丸太では繁殖に成功した穿入孔数の増大とともに繁殖成功度は低下した。このような違いが生じた原因として，穿入孔の密度や分布様式だけでなく，含水率などの餌資源としての質の差が繁殖成功度に大きく影響したのではないかと考えられた。

キーワード：カシノナガキクイムシ，繁殖成功度，穿入孔密度，分布様式

Ⅰ　はじめに

カシノナガキクイムシ *Platypus quercivorus*（以下，カシナガ）はブナ科樹木萎凋病の病原である *Raffaelea* 菌を伝播する。カシナガは寄主木へ集中的な穿入をし，寄主木に *Raffaelea* 菌を持ち込み，枯死させることで，繁殖成功度を高めていると考えられている。カシナガの寄主への穿入孔の分布様式に関する研究は多数みられ，穿入孔は樹幹下部に集中し（松本，1955；山崎，1978；Hijii *et al.*，1991），地上高が高くなるにしたがって穿入孔数が少なくなること（佐藤，2003；小林・野崎，2003；大橋・岡本，2011），穿入孔の位置に方位性はなく，穿入孔密度は寄主木の直径と正相関すること（Hijii *et al.*, 1991；布川・吉田，1995；伊藤・大橋，2014）などが明らかになっている。また，カシナガの繁殖成功度に関しては，穿入孔密度が低いほど穿入孔当たりの脱出虫数が多くなること（小林・野崎，2003）や坑道当たりの繁殖成功度には大きなばらつきがあり，坑道からの脱出数が 0 の坑道が多くを占める一方で，300 以上脱出する坑道も見られること（山崎，2012）が明らかになっている。しかし，穿入孔の分布様式と繁殖成功度を関係づけて検討した研究例は少ない（曽根ら，2000；加藤ら，2001）。カシナガの坑道当たりの繁殖成功度に大きなばらつきが生じる要因として種内競争の影響が指摘されているが（曽根ら，2000），十分には解明されていない。

この要因を明らかにすることは，今後，新たな防除技術を開発する際や，防除の効率化を進める上で非常に重要な情報となる。また，現在，樹幹注入剤は薬剤の少量化が進んでおり，薬剤処理の効率化を進めるためには重要である。

そこで，穿入部位や穿孔密度といった穿入孔の分布様式が繁殖成功度に及ぼす影響について検討した。

Ⅱ　材料および方法

1. 供試材料

岐阜県中津川市苗木および静岡県浜松市浜北区尾野で 2015 年夏にブナ科樹木萎凋病により枯死したコナラから採取した丸太，各 1 本を供試丸太とした。2016 年 3 月に供試丸太を森林研究所構内（岐阜県美濃市曽代）に搬入した。3 月中旬に丸太の両端をチェーンソーで切り落として約 1m の長さにし，乾燥を防ぐために両木口面にはシリコンシーラント（防かび剤無配合）を塗布した。

2. 方法

丸太の樹皮を曲面カンナとナタを使って剥皮し，丸太表面に認められたすべてのカシナガ穿入孔に番号を

図 -1　カシノナガキクイムシの穿入孔に設置した羽化トラップ

振り，図 -1 に示すような羽化トラップ（小林ら，2004 を改変）を設置した。トラップの設置は 2016 年 4 月 20 日までに行った。2016 年 4 月 21 日から 9 月 5 日にかけて，数日間隔で，発生ピーク時には毎日，捕虫瓶を交換し，脱出してきた幼虫および成虫を計数した。

カシナガ発生終了後，穿入孔の空間分布を解析するため，丸太表面に透明シートを重ねて穿入孔の番号と位置を写し取った。これを平面上に展開し，5 × 5cm の方形区毎に穿入数，脱出虫数を計数した。5 × 5cm の方形区を最小区画サイズとし，穿入孔数，1 頭以上成虫が脱出した穿入孔（以下，成功穿入孔）の数（以下，成功穿入孔数），脱出虫数について平均値（m）と平均こみあい度（m^*）を 5 × 5cm，5 × 10cm，10 × 10cm，10 × 20cm，20 × 20cm，20 × 40cm，40 × 40cm，40 × 80cm の 8 通りの区画サイズについて計算した。

穿入孔などの分布様式の解析には区画サイズを順次変えた時の平均密度（m）と種内および種間の平均こみあい度（m^*）の関係（Iwao，1972）および分布様式指数 ρ（Iwao，1972）を用いた。

なお，平均こみあい度 m* は次式により与えられる。

$$m^* = \Sigma\ X_i\ (\ X_{i-1}) \ /\ \Sigma\ X_i$$

ここで，X_i は i 番目の区画内の穿入孔数，成功穿入孔数，脱出虫数をしめす。

m^* と m とのあいだには直線関係があり，一般に $m^* = \alpha + \beta\ m$ であらわされる。α は m^* 軸における切片，β は傾きである。

$\beta = 1$ のとき，ランダム分布

$0 \leqq \beta < 1$ のとき，一様分布

$\beta > 1$ のとき，集中分布　となり，個体分布の様式の違いを解析することができる。

一方，分布様式指数 ρ は次式により与えられる

$$\rho_i = (m^*_{\ i} - m^*_{\ i-1}) \ /\ (m_i - m_{i-1})$$

ここで，$_i = 1, 2, 3 \cdots$ は区画サイズの順序を示す。最小の区画サイズ（$i = 1$）に対しては，$\rho_{\ 1} = m^*_1 \ / \ m_1$ となる。区画サイズに対する ρ 値の変化の仕方によって，集団構造の有無，1 集団の占有面積とその変異，集団内での個体の分布および集団自体の分布様式が明らかになる。

次に，穿入孔周辺の穿入孔密度と脱出虫数との関係について検討するため，成虫の脱出がみられた穿入孔について，その穿入孔の半径 50㎜ および 100㎜ の円内にみられる穿入孔数および成功穿入孔数を計数した。

Ⅲ　結果

1. 成虫および幼虫の脱出

表－ 1 に供試した丸太の概要および脱出虫数を示した。岐阜県中津川市から採取した丸太（以下，岐阜）には 237 個の穿入孔がみられ，このうち 95 個の穿入孔から成虫が脱出した。丸太全体の脱出成虫数は 640 頭，脱出幼虫数は 137 頭であった。静岡県浜松市から採取した丸太（以下，静岡）には，401 個の穿入孔がみられ，

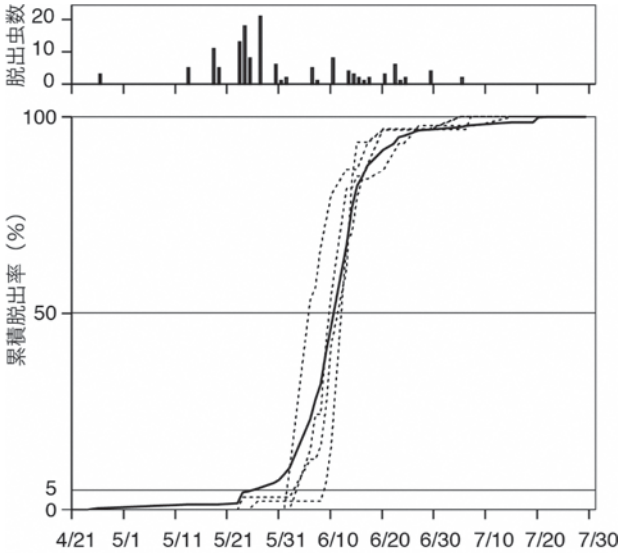

図-2　カシノナガキクイムシの脱出消長（岐阜）

上段は幼虫の脱出虫数、下段は成虫の累積脱出率の季節変化を示す。実線は脱出してきた全個体の脱出消長を、点線は脱出虫数が多かった穿入孔からの脱出消長を示す。

表-1　丸太の諸元

	中央直径 (cm)	長さ (cm)	穿入孔数	穿入孔密度 (個/100cm²)	脱出虫数		成虫が脱出した穿入孔数
					成虫	幼虫	
岐阜	44.3	105	237	1.62	640	137	95
静岡	39.1	98	401	3.33	2777	0	139

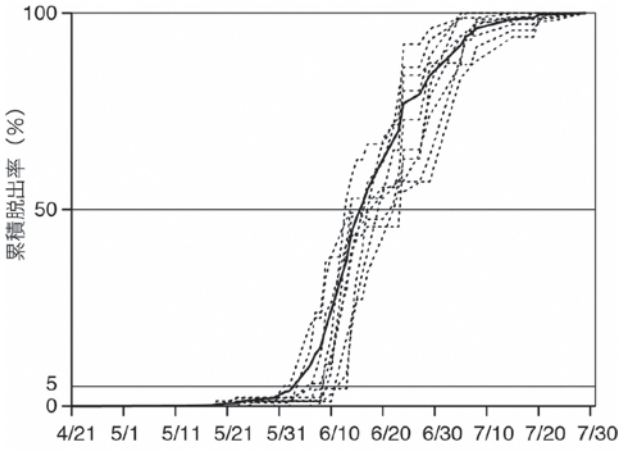

図-3　カシノナガキクイムシの脱出消長（静岡）
実線は脱出してきた全個体の脱出消長を、点線は脱出虫数が多かった穿入孔からの脱出消長を示す。

このうち139個の穿入孔から成虫が脱出した。丸太全体の脱出虫数は2,777頭であった。どちらの丸太も約6割の穿入孔は繁殖に失敗した。

図－2，3にカシナガの脱出消長を示した。岐阜からの初発日は4月25日，5%脱出日は5月26日，50%脱出日は6月12日であった。静岡からの初発日は5月13日，5%脱出日は6月6日，50%脱出日は6月18日であった。成虫の発生の始まりに多少のずれはあるが，脱出の経過は同様であった。それぞれの丸太について，脱出虫数が多かった上位5%にあたる穿入孔からの脱出消長を点線で示した（図－2,3）。岐阜,静岡ともに5%脱出日は脱出虫数が多かった坑道からの方が1週間程度遅れる傾向にあった。

穿入孔からの幼虫の脱出は5月に多く見られ，そのほとんどが終齢幼虫であった。しかし，6月以降にも少数ながら脱出幼虫はみられ，最後に確認されたのは7月5日であった。また，6月以降に脱出した幼虫の中には若齢幼虫も認められた。

2．穿入孔，成功穿入孔，脱出虫の空間分布

図－4～9に区画サイズを連続的に変化させたときの m^*-m 関係および ρ と区画サイズの関係を示した。

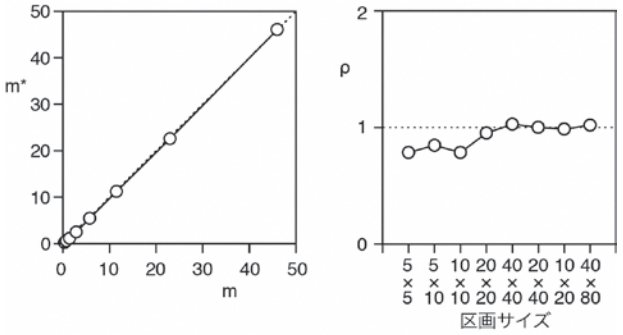

図-4　穿入孔の区画サイズとm*-mの関係（岐阜）

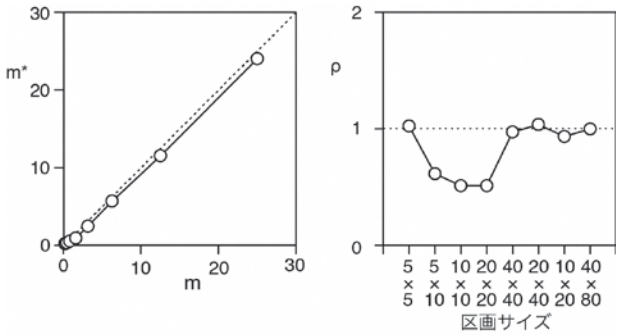

図-5　繁殖に成功した穿入孔の区画サイズm*-mの関係（岐阜）

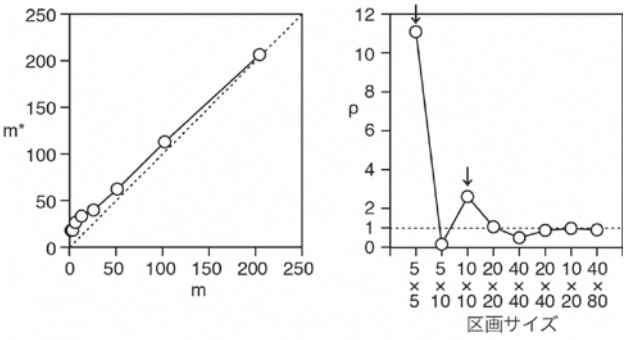

図-6　脱出虫の区画サイズとm*-mの関係（岐阜）

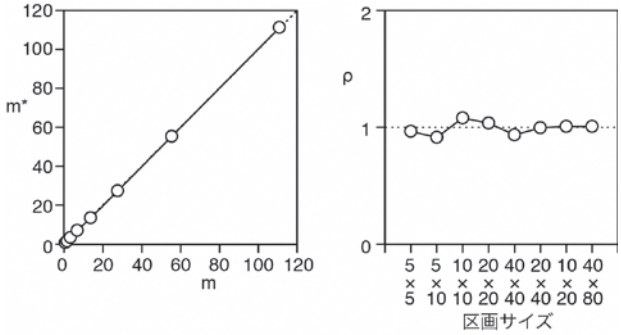

図-7　穿入孔の区画サイズm*-mの関係（静岡）

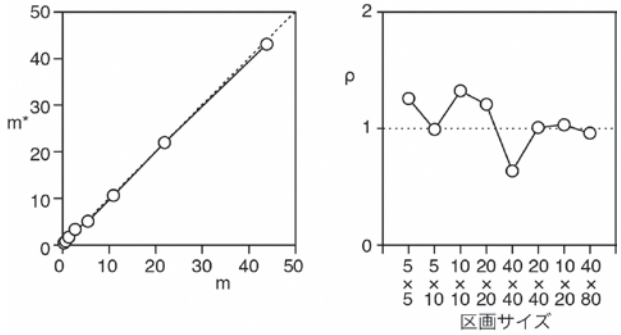

図-8　繁殖に成功した穿入孔の区画サイズとm*-mの関係（静岡）

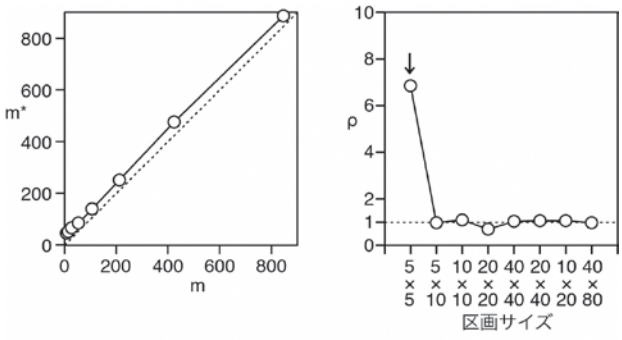

図-9　脱出虫数の区画サイズとm*-mの関係（静岡）

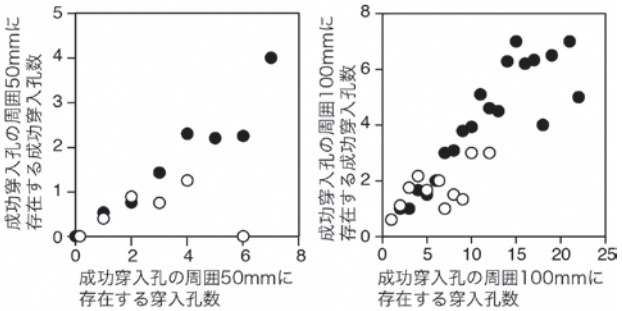

図-10　成功穿入孔周辺の穿入孔数と繁殖に成功した穿入密度との関係
●:静岡, ○:岐阜

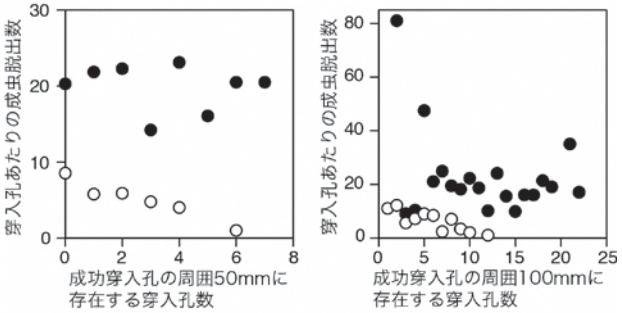

図-11　成功穿入孔周辺の穿入孔密度と繁殖成功度との関係
●:静岡, ○:岐阜

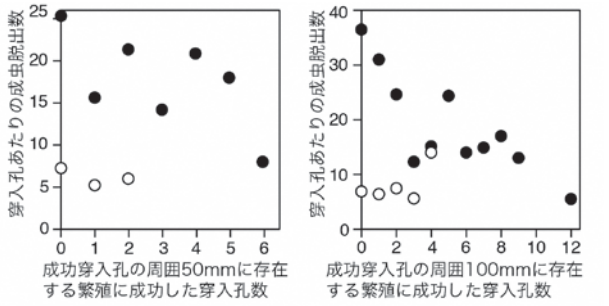

図-12　成功穿入孔周辺の繁殖に成功した穿入密度と繁殖成功度との関係
●:静岡, ○:岐阜

これらによると，穿入孔および成功穿入孔は岐阜，静岡ともにランダムに分布していた。これに対し，ρと区画サイズの関係から岐阜，静岡の脱出虫数は様々な大きさの集団を形成した。脱出虫数は岐阜，静岡ともに5 × 5cmを占めるコンパクトな小集団を形成し，静岡ではその集団がランダムに分布していた。岐阜では小集団がさらに10 × 10cmの中集団を形成し，ランダムに分布していた。

繁殖に成功した穿入孔について，穿入孔周辺の穿入孔密度と成功穿入孔密度との関係を図－10に，穿入孔周辺の穿入孔密度および繁殖に成功した穿入孔密度と繁殖成功度との関係を図－11～12に示した。穿入孔密度と繁殖に成功した穿入孔密度との関係をみると，周囲の穿入孔密度が低い時は静岡と岐阜ともに同じように穿入孔数の増加とともに繁殖に成功した穿入孔密度も増大した（図－10）。穿入孔密度が高くなると静岡では繁殖成功穿入孔密度も高くなったが，岐阜では50㎜スケールでは穿入孔密度が6で成功穿入孔数0と減少した（図－10）。穿入孔密度と繁殖成功度との関係では，岐阜では50㎜，100㎜スケールのどちらも穿入孔密度の増大とともに繁殖成功度は低下したが，静岡では50㎜スケールでは穿入孔数が増加しても繁殖成功度は横ばいであったが，100㎜スケールでは穿入孔数が少ない時は密度の増大とともに低下したがその後はほぼ一定の傾向を示した（図－11）。繁殖に成功した穿入孔密度と繁殖成功度の関係では，50㎜，100㎜スケールのどちらでも，岐阜では繁殖成功穿入孔数が増加しても繁殖成功度は横ばいであったのに対し，静岡では繁殖成功穿入孔密度の増大とともに繁殖成功度は低下した（図－12）。

Ⅳ　考察

今回，成虫が多数脱出した坑道からの発生は，丸太全体の発生消長に比べて遅れた。カシナガの幼虫の発育速度は温度に依存することから（大橋，2014），繁殖に成功した穿入孔の穿孔時期は，イニシャルアタックからやや遅れたと考えられる。穿孔開始時期の遅れは，穿孔場所の制約や坑道を拡張させるための空間をめぐる種内競争や，幼虫の発育可能な時間が不足するため，繁殖成功にマイナスとなると考えられている（曽根ら，2000）。しかし，穿孔時期の1週間程度の遅れはこうしたマイナス効果にはつながらず，むしろ最初に穿入したカシナガにより寄主の防御力が低下したタイミングで穿入したほうが，繁殖に成功するのではないかと推察された。

今回の調査では，新成虫の発生ピークを過ぎた6月中旬以降に一部の坑道から若齢幼虫の脱出が認められた。この理由として次の4つの場合が考えられる。1）発育が遅れ，未だ若齢幼虫のままの個体がいる。2）新成虫が坑道から脱出後，交尾した個体が親の坑道内に産卵した。3）外部から交尾した雌が坑道に侵入し産卵した。4）成虫が翌年も生存して産卵を継続した。Sone *et al.*（1998）は，鹿児島では5齢に生育していない個体は越冬できず，死亡するとしており，若齢での越冬は考えにくい。今回は，カシナガが脱出する前の4月25日に羽化トラップを設置しており，カシナガが外部から侵入することはできない。カシナガの交尾様式は坑道があって成立することから，坑道から脱出した新成虫同士が交尾できるとは考えにくい。また，小林（2006）はカシナガを丸太に穿孔，交尾させ，定期的に割材して調査した結果，交尾して10日後の坑道内に幼虫が確認され，16日後には終齢幼虫が確認できたと報告している。以上のことから，前年に穿入した成虫が坑道内で越冬し、春以降に産卵したと考えられる。

今回試験に供試した丸太の穿入孔密度は静岡が333孔/m^2，岐阜が162孔/m^2と異なったが，穿入孔の分布はともにランダム分布であった。マテバジイでは，カ

シナガの穿入孔密度が低い場合，穿入孔は一様分布を呈し，密度が高くなるにつれて集中分布となることが知られている（曽根ら，2000）。この理由として，曽根ら（2000）は，密度が低い時は穿入孔は既存の穿入孔を避けたり，互いに排他的に作られるため，その分布は均一になるが，密度が高くなったときには，樹幹表面の凹部や皮目などの穿孔しやすい場所で，既存の穿入孔の近くに作られるため，集中的になると考察している。カシナガの穿入孔密度は，コナラの場合，8～628 孔 /m^2（Hijii *et al.*, 1991；井上ら，1998；Urano, 2000；小林・上田，2001）と条件により大きく異なる。曽根ら（2000）が解析に使用した丸太の穿入孔密度は 20～230 孔 /m^2 であったことから，それほど高い状態ではないと考えられる。したがって，穿入孔の分布様式の変化は，一様分布から集中分布と推移して終わるのではなく，さらに穿入密度が高くなれば，穿入孔が集中した場所を避けて穿孔することで再びランダム分布となり，さらに密度が高くなれば集中分布へと変化するように，ランダム分布と集中分布を繰り返すのではないかと考えられる。

脱出虫数の分布は 5 × 5cm を占めるコンパクトな小集団を形成した（図－ 6，9）。駆除方法として行われている立木型くん蒸処理は，樹幹を 10cm 間隔で千鳥格子状に注入孔を空け，くん蒸剤を注入している。このような注入孔の空け方は今回の結果からも合理的であると考えられる。一方で，予防手法として行われている殺菌剤の微量注入処理は，樹幹円周上をおおよそ 15cm 間隔で注入孔を空け，薬剤を注入している。ナラ類の樹幹内における水の移動は水平方向には拡がりにくいことから，薬剤の効きムラが生じる可能性が高い。このような危険を避けるためには薬剤の注入間隔を再検討することが望ましい。

穿入孔の分布様式と繁殖成功度の関係について検討したが，カシナガの坑道は材内部に延び辺材部を利用するため，樹幹表面の条件だけで繁殖成功度を説明することはやはり難しい。今回の結果では，穿入孔密度と繁殖成功度の関係は岐阜と静岡で異なった。このように，静岡と岐阜で傾向が異なったのは，穿入孔の密度や分布様式の違いより，穿孔した木（丸太）の餌資源としての質の差が大きく影響したと考えられる。すなわち，初期は岐阜と静岡で差はなく，カシナガの穿孔がおきるが，岐阜では餌資源の質が悪いために坑道の拡張ができない，新たな穿入もおきないのに対し，静岡は餌資源の質が良いため，新たな穿入が増えるとともに，坑道の拡張も進むので，繁殖成功度が高くなったのではないかと考えられる。このような餌資源の質の良し悪しを決める因子の一つに，含水率の違いが挙げられる。カシナガの共生菌の繁殖には 55%以上の含水率が必要であり（小林ら，2003），含水率の低い部位では繁殖成功率が低いことがわかっている（小林ら，2003）。ブナ科樹木萎凋病によるコナラ枯死木を伐採した直後に測定した材の含水率は 52～74%と個体により大きく異なり，また同一丸太内でも測定する部位によって含水率が異なった（未発表）。このことから，静岡と岐阜で含水率に差があったことも考えられる。また，同一丸太内でも含水率に違いがあり，このことが繁殖成功の違いに影響したことも考えられる。今後は，穿入孔の分布様式と含水率の分布を関連付けして繁殖成功度への影響について検討していくことが必要であると考えられた。

引　用　文　献

Hijii,N. Kajimura,H. Urano,T. Kinuura, H. and Itami,H.（1991）The Mass Mortality of Oak Trees Induced by *Platypus quercivorus* (Murayama) and *Platypus calamus* Blandford –The Density and Spatial Distribution od Attack by the Beetles －．日林誌 73：471-476

井上牧雄・西垣眞太郎・西村徳義（1998）コナラとミズナラの生立木，枯死木および丸太におけるカシノナガキクイムシとヨシブエナガキクイムシの穿入状況と成虫脱出状況．森林応用研究 7：121-126

伊藤昌明・大橋章博（2014）高標高地域で発生したナラ枯れ枯死木におけるカシノナガキクイムシ（*Platypus quercivorus* (Murayama)）の穿入孔密度．岐阜県森林研報 43：13-22

Iwao, S.（1972）Application of the m* - m method to the analysis of spatial patterns by changing the quadrat size. Res. Popul. Ecol. 14:97-128

加藤賢隆・江崎功二郎・井下田寛・鎌田直人（2001）カシノナガキクイムシのブナ科樹種 4 種における繁殖成功度の比較（予報）．中森研 49：81-84

小林正秀（2006）ブナ科樹木萎凋病を媒介するカシノナガキクイムシ．樹の中の虫の不思議な生活（柴田叡弋・富樫一巳編著．東海大学出版会.）189-212

小林正秀・野崎愛（2003）ミズナラにおける地上高別のカシノナガキクイムシの穿入孔数と成虫脱出数．森林応用研究 12：143-149

小林正秀・野崎愛・衣浦晴生（2004）樹液がカシノナガキクイムシの繁殖に及ぼす影響．森林応用研究 13：155-159

小林正秀・上田明良（2001）ナラ枯損発生直後の林分におけるカシノナガキクイムシの穿入と立木の被害状況（Ⅱ）－京都府和知町と京北町における調査結果－．森林応用研究 10：79-84

小林正秀・上田明良・野崎愛（2003）カシノナガキクイムシの飛来・穿入・繁殖に及ぼす餌木の含水率の影響．日林誌 85：100-107

松本孝介（1955）カシノナガキクイムシの発生と防除

状況．森林防疫ニュース 4：10-11
布川耕市・吉田成章（1995）コナラ樹幹でのカシノナガキクイムシの寄生分布．46 回日林関東支論：101－102
大橋章博（2014）カシノナガキクイムシの発育零点と有効積算温度の試算．中森研 62：53-54
大橋章博・岡本卓也（2011）フモトミズナラにおけるカシノナガキクイムシの穿入孔数と成虫脱出数．中森研 59：231-232
佐藤嘉一（2003）桜島におけるカシノナガキクイムシ被害．九州森林研究 56：95-100
Sone, K., Mori, T., and Ide, M.（1998）Life history of the oak borer, *Platypus quercivorus* (Murayama) (Coleoptera : Platypodidae). Appl. Entomol. Zool. 33：67-75
曽根晃一・牛島豪・森　健・井手正道・馬田英隆（1995）林内におけるカシノナガキクイムシの被害発生状況と被害木の空間分布様式．鹿大演報 23：11-22
曽根晃一・宇都一輝・福山周作・永野武志（2000）カシノナガキクイムシの繁殖成功に与える坑道作成時期の影響．応動昆 44：189-196
Urano, T.（2000）Relatiomship between mass mortality of two oak species (*Qercus mongolica* Turcz. var. *grosseserrata* Rehd. et Wils. and *Q. serrata* Thunb.) and reproduction of *Platypus quercivorus* (Murayama) (Coleoptera:Platypodidae). J. For. Res. 5：187-193
山崎秀一（1978）新潟県朝日村に発生したナガキクイムシの被害．森林防疫 27：28-30
山崎理正（2012）探索は闇雲じゃなく正確に．微生物生態学への招待～森をめぐるミクロな世界～（二井一禎・竹内祐子・山崎理正編，京都大学学術出版会．）265-278