

サビマダラオオホソカタムシの松くい虫防除への適用

牧本 卓史

Application to management of pine sawyer (*Monochamus alternatus* Hope)
by natural enemy, *Dastarcus helophoroides* Fairmaire.

Takushi MAKIMOTO

要 旨

牧本 卓史：サビマダラオオホソカタムシの松くい虫防除への適用 岡山県森林研報 27：73～82 (2011) マツノマダラカミキリの捕食寄生者であるサビマダラオオホソカタムシを松くい虫の天敵防除資材として活用する方法を検討することを目的とした研究を行った。和気町のアカマツ林に約1 haの試験地を設け、3年間継続的にサビマダラオオホソカタムシを放飼した時の放飼効果と被害の推移を調べた。その結果、周囲にマツノマダラカミキリの発生源となる被害マツ林が存在するこの試験地においては、試験期間を通じて被害率は10%前後で推移し、被害を低減させることはできなかった。しかし、サビマダラオオホソカタムシの放飼により当該林分からのマツノマダラカミキリの脱出数を抑制し、サビマダラオオホソカタムシを徐々に定着させることで、試験地内のマツノマダラカミキリの穿入数や脱出数が減少する傾向が認められた。一方で、マツ材線虫病による枯死率はほぼ横ばい状態が継続していることから、サビマダラオオホソカタムシを活用した松くい虫の防除には、本種による駆除効果をさらに向上させる技術を確認することと併せて、周辺マツ林からのマツノマダラカミキリの飛来数を抑制するための緩衝帯を設けること等、既存技術との複合的な利用技術を確認し、マツノマダラカミキリの生息数をさらに低減させる方策を検討する必要があると考えられた。

キーワード：マツノマダラカミキリ、サビマダラオオホソカタムシ、松くい虫、天敵

I はじめに

アカマツ (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc) は、横架材等の建築用材のほか、岡山県においては備前焼や刀剣のような伝統工芸品の制作に欠くことのできない良質の燃料として根強い需要がある。また、若く健全なアカマツ林は、多くのマツタケを産出し、岡山県では主要な特用林産物の生産場として重要視されている。

岡山県内には、10万ha余りのマツ林が存在し、松の材積は約1,970万 m^3 、年生長量は約23万 m^3 に上ると推定されている(岡山県農林水産部林政課 2011)。一方、本県の松くい虫被害は、ここ10年来、概ね2～3万 m^3 程度(岡山県農林水産部 2011)で推移しており、効果的な防除の取り組みにより、マツ林資源は概ね維持されていると考えられる。

しかし、聞き取りによると、工芸品の燃料に使用されるアカマツ材は、必要とする燃焼温度を確保するために松くい虫被害木でないものがより良質であるとされ、被害地からのアカマツ材の調達を避ける傾向が強い。また、松くい虫被害がマツ林におけるアカマツの優占度を低下させ、又は遷移を早めることでマツタケ生産に支障を及ぼしていることも考えられる。産業に直接関わらない部分でも、景観保全や道路通行の安全等を確保するために必要な被害木の処理には多額のコストを要している。これらのことから、限られた地域のマツ林を、効果的かつ低コストで松くい虫被害から守ることは、依然として重要であると言える。

近年、マツ材線虫病の防除は、マツノマダラカミキリ (*Monochamus alternatus* Hope, 以下、マダラカミキリ

という)を標的とした薬剤防除から、施用地を選ばず、環境への負荷がより小さい生物的防除や物理的防除への移行が期待されている。生物的防除資材としては、1980年代から、マダラカミキリの天敵の検索が精力的になされ、そのうち防除資材としての開発の見込みのある数種の天敵利用について各所で研究がなされた(池田 1983, 1984, 1986, 勝又ら 1984, 野淵 1980, 竹常 1983, Togashi 1986)。

岡山県農林水産総合センター森林研究所(以下、森林研究所という)でも、クロアリガタバチ(*Sclerodermus nipponicus* YUASA), ボーベリア菌(*Beauveria bassiana*), オオコクヌスト(*Trogossita japonica* Reitter)及びサビマダラオオホソカタムシ(*Dastarcus helophoroides* Fairmaire, 以下、ホソカタムシという)の防除への活用が検討された。ホソカタムシについては、主に県南部の広い地域で生息が確認されており、ある林分では、土着個体群による寄生率が58%に上ったという調査結果も報告されている(岡本 1999)。そこで、2005年以降は、これらマダラカミキリの天敵のうち最も有望であると判断したホソカタムシに着目して研究を行ってきた。

ホソカタムシは、鞘翅目ムキヒゲホソカタムシ科(Bothriideridae)に属する捕食寄生性昆虫で、主にカミキリムシ類の幼虫及び蛹に寄生する。1980年頃に、広島、岡山両県のマツ林でマダラカミキリに寄生してる本種が相次いで発見され、その後天敵として認識された(竹常 1982, 井上 1991, 1993)。

森林研究所で行ってきたこれまでの研究では、網室内のような限られた空間で、マツの被害材にホソカタムシの成虫を放飼したところ約90%の駆除率であった(石井 2003)ことや、野外の被害マツの胸高付近にホソカタムシの成虫を放飼して地上高12m以上での寄生を確認(石井ら 2004)するなど、本種の低コスト防除資材としての有用性が裏付けられてきた。

しかし、吉田(2006)は、天敵生物のみで松くい虫被害を抑えるためにはマダラカミキリをほぼ絶滅させるほどの捕食・寄生能力を持った生物が必要であると指摘した。また、微害林の被害を横ばい状態に保つために必要なマダラカミキリの死亡率は93%以上であると試算した(吉田 2005)。ホソカタムシの単独使用による防除技術の開発においても、マダラカミキリの死亡率が93%以上となる使用方法を確立する必要があり、これに達しない場合は、既存の防除技術等と組み合わせた有効な活用方法等の検討が求められる。

また、低コスト防除資材として天敵生物に期待される点のひとつに、施用地に定着し、自ら増殖し、移動・分散することで放飼翌年以降も効果の持続が見込まれる可能性が挙げられる。石井(2003)は閉鎖環境下(網室

内)での放飼試験で、放飼当年は放飼木以外の近接被害木での寄生が認められなかったと報告した。また、浦野(2007a)は、網室内で行った分散試験で、ホソカタムシがマダラカミキリの穿入した被害丸太に誘引されなかったことを確認した。

そこで、本研究では、ホソカタムシの最も効果的な放飼方法を検討するとともに、マツ林におけるホソカタムシの定着と分散の効果を考察するための実証的放飼試験を行った。

なお、本研究は2008~2010年度単県試験研究課題「松くい虫の複合的防除技術の開発」で取り組んだものである。

また、旧岡山県林業試験場は、本研究の実施期間中である2010年度から、組織改編により岡山県農林水産総合センター森林研究所と名称変更されたが、本報告中では、森林研究所に統一して表記する。

II 調査地及び材料と方法

1 野外放飼試験

和気町地内の「和気美しい森」のアカマツ林に放飼試験地を設定した(図-1)。事前調査により、試験地を含む周辺のアカマツ林には松くい虫被害があり、土着のホソカタムシが生息していることを確認した。試験地は、標高約400m、年平均降水量1174.4mm、年平均気温13.9℃(気象庁、岡山県和気観測点による)、アカマツが優占する自然林で、概ね北向き緩斜面である。

試験地は、約1.03haの東西に長い形状で、周囲の一部

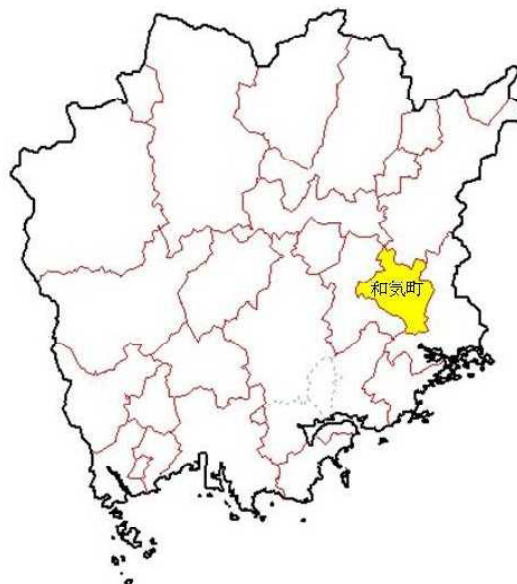
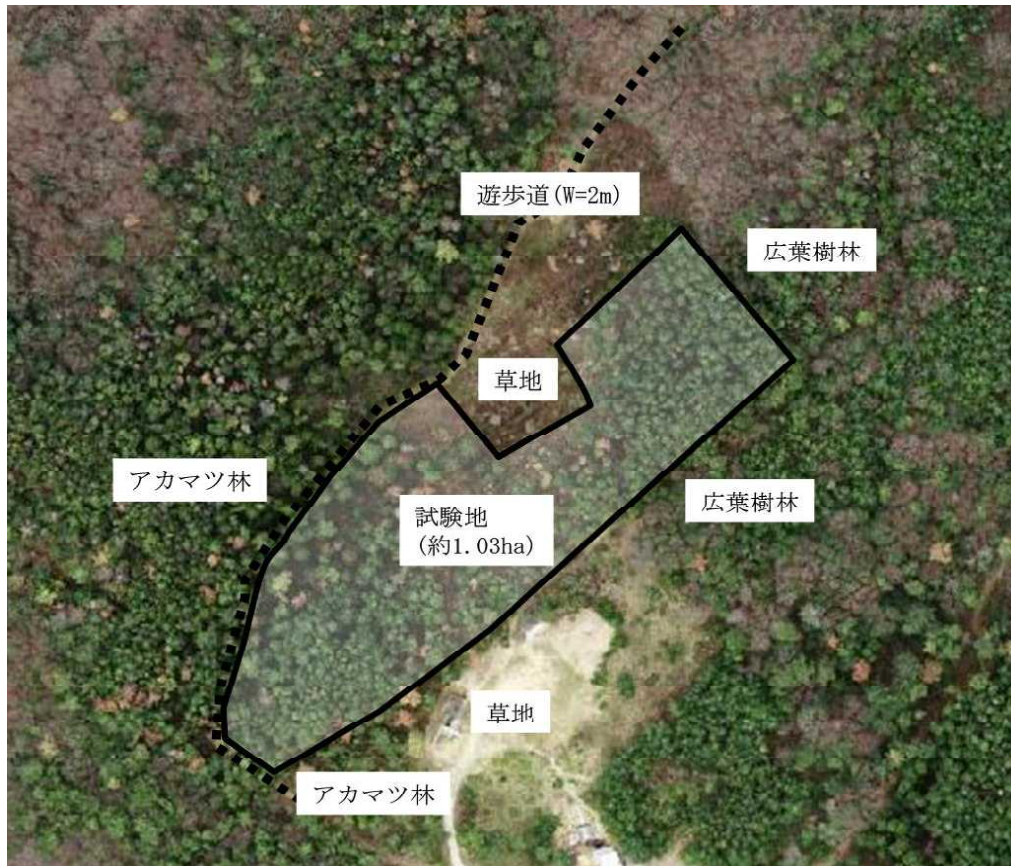


図-1 試験地を設定した和気町の位置



図－2 試験地の形状と周辺の状態（航空写真出典：岡山県全域統合型GIS）

は、幅員約2mの遊歩道を挟んでアカマツ林に接しており、他に広葉樹二次林、草地等に囲まれている（図－2）。試験地内の枯損木については、同じ施設内にある炭焼き窯で炭化利用するために一部搬出されているが、薬剤による松くい虫防除の作業等を行われていない。隣接するアカマツ林においても、松くい虫に関しては試験地と同様の被害状況であるが、防除等の諸行為は一切行われていない。

（1）2008年度野外放飼試験

放飼試験地に出現した2007年度枯死木51個体全てを伐倒し、そのうちマダラカミキリの穿入が認められた34個体について、2008年5月1日及び7日に、ホソカタムシの卵をマツ1個体当たりそれぞれ3,000卵放飼した。卵は、森林研究所で飼育している成虫が室温環境下で産卵したものを採集し、防水性の紙で作製した約7cm四方の封筒状の容器に約1,000卵ずつ入れ、供試木の樹幹の3箇所容器の開口部が下向きになるようにガンタッカーで設置した。放飼木の中から11本を無作為に選んで、マダラカミキリの羽化・脱出が概ね完了した8月中旬に、長さ約1mに玉切りし、それぞれ個体と高さが判るようにナンバリングして森林研究所に持ち帰った。放飼木のうち、森林研究所に持ち帰らなかった23個体については、

10月以降に現地で穿入孔を確認し、穿入孔にプラスの充填が認められるもの（マダラカミキリが終齢に達し、蛹室を形成して蛹化準備が整ったとみなせる）について、マダラカミキリ及びホソカタムシの脱出孔の有無をそれぞれ調べ、どちらも無いものについては現地で割材調査を実施した。

森林研究所に持ち帰った材は、2009年1月上旬までに剥皮・割材調査を行い、樹皮下及び材内に蛹室を形成したマダラカミキリの生死の別と死亡要因を調べた。当該試験地は、事前調査により、まれに2年1化のマダラカミキリが存在することが判っていたので、生存していたマダラカミキリのうち、当該年の脱出開始後に蛹室を形成していないものや明らかに終齢に達していないものについては、駆除対象とならないため生存個体数から除外した。また、マダラカミキリの脱出孔があり、かつマダラカミキリの死骸や死亡の痕跡の無いものについては生存個体数に含めた。

割材調査では、死亡要因を、ホソカタムシの寄生による死亡（以下、被寄生という）、オオコクヌスト等捕食性天敵昆虫による捕食（以下、捕食という）、キツツキ類による捕食、ポーベリア属菌等による死亡、死骸は確認できるものの死亡原因が判然としないもの（以下、不明死亡という）、不在蛹室の6種に分類した。被寄生は、

ホソカタムシの生死を問わず幼虫、繭又は成虫がマダラカミキリの蛹室内に残っているかホソカタムシの脱出孔が認められるものとした。また、割材調査中に不明死亡として記録したもののうちマダラカミキリの死骸の大半が残っているものについては、実験室内で検鏡し、ホソカタムシの幼虫の死骸が含まれるものを被寄生と改めた。割材調査では、捕食性昆虫による捕食の痕跡があるもの一部にホソカタムシの繭の一部が残存している場合があり、これは被寄生として記録した。キツツキ類の捕食については、材の外部からキツツキが掘削した痕があり、マダラカミキリの蛹室が形成されていて、かつ不在のものとした。菌類による死亡については、主にポーベリア属の菌類による白い菌糸に覆われたマダラカミキリの死骸が蛹室内に残っているものとし、死骸がなく菌糸だけが充満している蛹室については不在蛹室に含めた。

(2) 2009年度野外放飼試験

放飼試験区を東西にほぼ半分に分け、西側は放飼区とし、出現した2008年度枯死木36個体のうち15個体に、2009年4月28日にホソカタムシの成虫をそれぞれ30頭、残りの21個体に、同5月8日にホソカタムシの卵をそれぞれ2,000卵放飼した。成虫の放飼は、ケント紙で作った箱の一部に開口部を設け、ガンタッカーで供試立木の胸高付近に設置した。卵放飼に使用した産下卵及び容器は2008年度試験と同様とし、それぞれ供試立木の胸高付近に容器の開口部が下向きになるようにガンタッカーで設置した。東側は対照区とし、出現した19個体を6月中旬に伐倒した後、長さ約1mに玉切りし、それぞれ個体と高さが判るようにナンバリングして森林研究所に持ち帰り、剥皮・割材調査を行った。放飼木のうち、26個体(成虫放飼木15個体、卵放飼木11個体)は、マダラカミキリの羽化・脱出が概ね完了した8月中旬以降に、対照区の無放飼木と同様の処理を行った後、森林研究所に持ち帰り剥皮・割材調査を行った。森林研究所に持ち帰ることができなかった卵放飼木10個体については、2008年度の試験同様に現地で剥皮・割材調査を実施した。

(3) 2010年度野外放飼試験

2009年度枯死木のうち、マダラカミキリの穿入の多いマツから、2009年の試験で東西に分けた調査区で供試木をそれぞれ11個体選び、西側を放飼区として、5月中旬までにホソカタムシの成虫それぞれ30頭を、2009年度野外放飼試験と同様の方法で放飼した。東側を対照区として、6月中旬に森林研究所に持ち帰り、剥皮・割材調査を行った。

天敵生物の駆除効果を測る場合、駆除個体数を生存個体数と駆除個体数の和で除したものを駆除率とするのが一般的である。本研究でも、まず単純な寄生率として、

被寄生数を生存個体数と被寄生数の和で除したものを算出した。

しかし、ホソカタムシの放飼試験の場合、死亡原因が特定できなかったマダラカミキリの死骸から、ホソカタムシの寄生の痕跡が僅かに残っている場合があり(浦野2005)、不明死亡としたマダラカミキリのうち、どの程度ホソカタムシの寄生が関与しているのかを正確に判断することは困難である。また、試験地としたアカマツ林では土着のホソカタムシが生息しているため、放飼の有無にかかわらず、ホソカタムシの被寄生が認められる。そこで、本研究では、ホソカタムシの放飼効果を測る指標として、対照区の生残率と放飼区の生残率の差を対照区の生残率で除すAbbott(1925)の補正式を用いた補正致死率を用いた。なお、この場合のそれぞれの生残率は、生存個体数を、生存個体数と被寄生数及び不明死亡数の和で除したものとした。

また、ホソカタムシを活用した時の松くい虫被害の抑止効果を検討するためには、ホソカタムシによる被寄生以外の死亡要因も含めたマダラカミキリの死亡率によって判定することが望ましいと考えられる。死亡率の算出は、マダラカミキリの蛹室数から不在蛹室数を控除し、それに対して全ての要因による死亡個体数の占める割合とした。

試験期間中は、試験地内でマツ材線虫病によって枯死したマツの個体数を記録した。2007年度枯死木については2008年の放飼直前(4月末まで)に、2008~2010年度の枯死木数は、それぞれ翌年の3月末日までにマツ材線虫病により枯死した個体数とした。

2 網室内卵放飼試験

(1) 駆除対象木の集積方法の検討

集積方法の違いによる駆除効果の差を検討するため、約1mに玉切りした駆除対象木を並列に横積みしたものと1段毎に集積方向を90°回転させて集積したもの(以下、交差積みという)にホソカタムシの卵を放飼し、駆除効果を比較する試験を行った。また、1箇所当たりの放飼卵数を減らして、放飼箇所数を増やした時の放飼効果を検討した。それぞれの試験区の放飼条件を、表-1に示す。

表-1 集積方法を比較した卵放飼試験の試験条件

試験区分	集積方法	供試材積 (m ³)	放飼単位
放飼区	A 並列積	0.27	500卵×20箇所
	B 並列積	0.23	1,000卵×10箇所
	C 交差積	0.25	1,000卵×10箇所
対照区	並列積	0.20	—

(2) 成虫放飼の効果の実験的実証

成虫放飼では、卵放飼とは異なり成虫が放飼木に留ま

る限り継続的に卵（孵化幼虫）が供給されることで、放飼効果が高まることが期待される。しかし、これまでの試験では、成虫放飼と卵放飼の効果の差は明確になっておらず、放飼成虫の放飼木への滞留期間も定かではない。そこで、成虫が放飼木に留まった状態が維持された場合を仮定して、卵を数回に分けて放飼する試験を行った。試験設定は、2009年にマツ材線虫病により枯死したマツを長さ約1mに玉切りして網室内に集積した供試材に、2010年5月下旬に10,000卵を放飼するものと（1回放飼区、0.15m³）、同じ時期から1週間間隔で2,500卵ずつを4回に分けて放飼するもの（4回放飼区、0.13m³）とした。放飼卵は、約500卵ずつを封筒状容器に封入し、被害材の数箇所にランダムにガンタッカーで設置した。対照区として0.12m³の被害材を同様の網室内に集積し、無放飼のまま剥皮・割材調査を実施した。

III 結果と考察

1 野外放飼試験

(1) 2008年度野外放飼試験

試験地内における2008年4月の設定時点には、マツの生立木が475個体、2007年度枯死木が51個体で、単年枯死率は9.7%であった。

2008年度野外放飼試験の結果を表-2に示す。森林研究所に持ち帰って剥皮・割材調査した11個体（材積1.84m³）のマツには、762のマダラカミキリの蛹室があり、マダラカミキリの状態は、生存が163頭（脱出160を含む）、被寄生が110頭、不明死亡が102頭、不在蛹室が152、ホソカタムシ以外の天敵等による死亡が235頭であり、寄生率は40.3%となった。

森林研究所に持ち帰らず、試験地で割材調査した23個体を含めると、不在蛹室を除いた1,190の蛹室のうち、被寄生の237頭を含む953頭のマダラカミキリが死亡しており、死亡率は80.1%となった。

2009年3月末日までに、マツ材線虫病によるものと考

えられる枯死木は55個体確認され、枯死率は11.6%となった。異なる年次の被害率を単純に比較することはできないが、同年の岡山県全体の松くい虫被害量は約0.8%の微増に留まっており（岡山県農林水産部 2011）、本試験地では、放飼による被害低減の効果は見られなかったと考えられる。

近接地に同程度の松くい虫被害林分があり、そこからのマダラカミキリの飛来は避けられないため、このような環境にある小面積の本試験地では、仮に100%のマダラカミキリを駆除したとしても被害の完全な抑止はできない。しかし、100,000卵を超えるホソカタムシの放飼により駆除できたマダラカミキリは237個体であるのに対し、試験地内で羽化脱出したマダラカミキリは218頭に上ったことや、他の死亡要因も含めたマダラカミキリの死亡率が80.1%に留まったことから考えると、ホソカタムシを防除資材として利用する場合、さらに使用方法を検討する必要があると考えられた。

(2) 2009年度野外放飼試験

2009年度野外放飼試験の結果を表-3に示す。

対照区（19個体、3.65m³）のホソカタムシによる寄生率は47.1%、マダラカミキリの死亡率は76.5%であったのに対し、放飼区（26個体、9.01m³）の寄生率は50.5%、同じく死亡率は76.1%となり、有意な差は認められなかった（ χ^2 乗検定、 $p>0.05$ ）。しかし、成虫放飼区だけの寄生率は63.2%、同死亡率は83.6%であり、対照区と比して有意に高かった（ χ^2 乗検定、 $p<0.01$ ）。また、補正致死率は33.2%となり、放飼しなかった場合のマダラカミキリの生残個体の約3分の1が放飼によって駆除できたと考えられた。一方で、卵放飼区の寄生率と死亡率はそれぞれ27.9%、59.4%と対照区と比べても著しく低かったが、その原因は判らなかつた。

試験区を東西に分けたうち、西側の放飼区で羽化脱出したマダラカミキリは365頭であり、東側の対照区では、

表-2 2008年度野外放飼試験の結果

	供試木数 (個体)	材積 (m ³)	蛹室		マダラカミキリの状態								寄生率 (%)	死亡率 (%)
			樹皮下	材内	生存		被寄生	捕食	キツツキ	菌	不明	不在		
					材内	脱出								
研究所割材分	11	1.84	2	760	3	160	110	168	52	15	102	152	40.3	73.3
現地割材分	23	1.32	18	562	0	55	127	0	9	8	381	0	69.8	90.5
計	34	3.16	20	1322	3	215	237	168	61	23	483	152	52.1	80.1

表-3 2009年度野外放飼試験の結果

	供試木数 (個体)	材積 (m ³)	蛹室		マダラカミキリの状態								寄生率 (%)	補正致死率 (%)	死亡率 (%)
			樹皮下	材内	生存		被寄生	捕食	キツツキ	菌	不明	不在			
					材内	脱出									
対照区	19	3.65	13	1109	185	78	234	385	152	26	58	821	47.1		76.5
放飼区 (小計)	26	9.01	14	1695	0	365	373	531	112	32	116	1097	50.5	9.8	76.1
成虫	15	6.93	12	1097	0	174	299	392	90	26	77	702	63.2	33.2	83.6
卵	11	2.08	2	598	0	191	74	139	22	6	39	395	27.9	-32.6	59.4

表一 4 2010年野外放飼試験の結果

	供試木数 (個体)	材積 (m ³)	蛹室		マダラカミキリの状態								寄生率 (%)	補正致死率 (%)	死亡率 (%)
			樹皮下	材内	生存		被寄生	捕食	キツツキ	菌	不明	不在			
					材内	脱出									
対照区	11	2.15	3	601	53	18	83	180	22	9	65	174	53.9		83.5
放飼区	11	2.25	3	696	0	47	175	105	73	5	73	195	78.8	50.9	90.2

羽化脱出のピークに至る前の6月に前年枯死木全てを林外に搬出しているため、脱出個体はごく僅かであったと考えられる。2010年3月末までにマツ材線虫病によると思われる枯死木は53個体認められ、枯死率は12.6%であった。

(3) 2010年度野外放飼試験

2010年度野外放飼試験の結果を表一4に示す。対照区(11個体, 2.15m³)の寄生率は53.9%, 死亡率は83.5%であった。放飼区(11個体, 2.25m³)の寄生率は78.8%, 死亡率は90.2%であり、いずれも放飼区の方が有意に高かった(χ²乗検定, p<0.01)。また、補正致死率は50.9%となり、ホソカタムシの放飼により、無放飼の状態で生残するマダラカミキリの半数以上の駆除効果が上乗せできていることが明らかとなった。

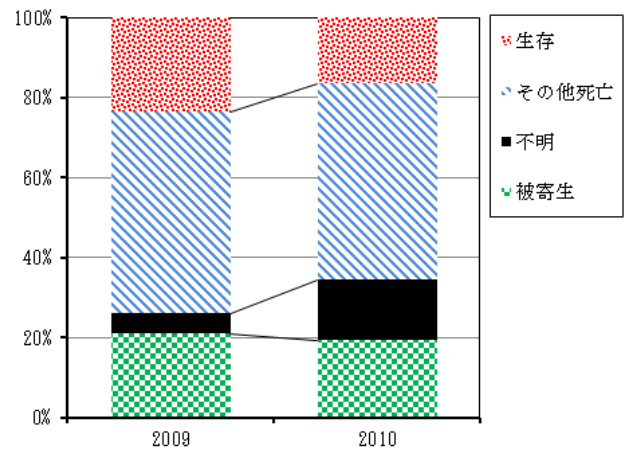
11個体の放飼木から羽化脱出したマダラカミキリは、47頭であった。また、供試木としなかった前年枯死木の多くは、供試木を選定した次点で極めてマダラカミキリの穿入は少なかった。これらのことから、3年間の試験期間では、試験地内で発生したマダラカミキリの数が最も少なかったと推測される。2011年3月までに、マツ材線虫病による考えられる枯死木は32個体出現し、枯死率は8.7%となった。この年は、全県の被害量も対前年比で4%程度の減少傾向にあったが(岡山県農林水産部2011)、この試験地の枯死率の対前年減少率は約31%であり、全県の傾向と比べても大きかったと言える。

3年間の実証的放飼試験では、放飼木からマダラカミキリを試験地内に脱出させるため、8月下旬まで放置して供試木の回収を行った。これは、ホソカタムシの放飼を行った場合の駆除率やマダラカミキリの死亡率に対する被害推移を検討するために行ったものである。一方で、これと併せてホソカタムシ放飼の単木的な効果を調べるために行った割材調査で、ホソカタムシの次世代成虫の多くを回収した。ホソカタムシの羽化・脱出時期はマダラカミキリよりもやや遅いため、放飼個体の次世代成虫が試験地内に脱出した数は、少なかったと考えられる。

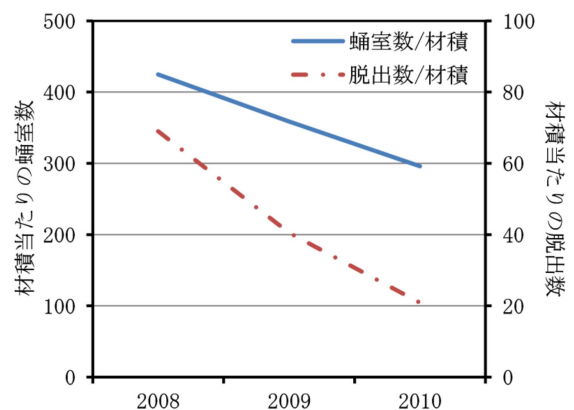
2009年及び2010年の無放飼木の死亡率は、それぞれ76.5%, 83.5%と上昇していた(図一3)。同じく寄生率は、それぞれ47.1%, 53.9%に、不明死亡の占める割合が4.4%から12.9%に増加する一方で、その他の死亡要因の占める割合にほとんど変化がなかった。このことはホソカタムシの寄生が関与した死亡個体が増加傾向に

あることを示しているものと推察される。

また、それぞれの年の供試木全ての材積当たりの蛹室数は、2008年が424.7個/m³、2009年が358.6個/m³、2010年が296.1個/m³と漸減していた(図一4)。材積当たりの脱出数でも、無放飼木からのものが2009年と2010年がそれぞれ72.1頭/m³、33.0頭/m³、同じく放飼木からのものが2008年からの3年間でそれぞれ69.0頭/m³、40.5頭/m³、20.9頭/m³といずれも減少傾向にあった。



図一 3 試験地内の無放飼木の死亡率及び死亡要因の推移



図一 4 供試材の材積当たりの蛹室数及び放飼木の材積当たりの脱出数の推移

試験地内のマツの、試験開始前年を含む4年間の枯死率の推移は、2007年が9.7%、2008年が11.6%、2009年が12.6%、2010年は8.7%であった。枯死木の計数を初年度は4月末日、試験期間中は3月末日で区切っており、前年からの罹患木がこの基準日以降に枯れる、いわゆる「年越し枯れ」は翌年にカウントされるため、2007年から2009年の枯死率は概ね11%程度の横ばい傾向で推移したと考えられる。しかし、2010年の枯死率の対前年変化量は全県の対前年変化量と比べて大きく、松くい虫による被害はやや少なかったと考えられる。このことは、3年間の継続放飼や試験に伴う一部のマダラカミキリの林外への持ち出しによる被害抑制の効果が現れたものであると推測された。

これらのことから、ホソカタムシの放飼を、数年間継続的に行うことで、徐々にホソカタムシが林地に定着し、マダラカミキリの駆除圧の増加に寄与する可能性が示唆された。ただし、本研究では、放飼木から羽化・脱出するはずのホソカタムシ次世代成虫の大半を回収しており、それらの全てを林地に残した場合の定着動態を明らかにしたものではない。また、前述のこのことは、無放飼で対象木としたマツについて、マダラカミキリの羽化・脱出が始まったばかりの6月中旬までに林外に搬出して割材調査に供したため、その分について、林地でほぼ100%の駆除が行われた場合と同等の効果があるものとして扱っている。即ち、定着に係るホソカタムシの供給個体数については過小に、ホソカタムシの駆除効果については過大に見積もっていることになる。今後は、ホソカタムシの放飼による効果の継続性やホソカタムシの林地への定着動態について、さらに実証的取り組みを重ね、データの蓄積を行う必要があると考えられる。また、浦野ら(2007)は、仮に防除により多数のマダラカミキリを駆除したとしても、生残したマダラカミキリ個体群の線

虫保有数が多く、相当の線虫伝播能力があればマツ材線虫病の被害は必ずしもマダラカミキリの個体群密度の減少に比例して減少しないとの考えを示した。マダラカミキリの駆除率が100%になり得ない天敵防除にあつては、マダラカミキリの駆除率(或いは生残率)と生息密度変化の関係、マダラカミキリの生息密度と被害率の推移の関係について、より詳細かつ多くの実証的データの蓄積が必要であると考えられた。

2 網室内卵放飼試験

(1) 駆除対象木の集積方法の検討

駆除対象木の集積方法を検討した卵放飼試験の結果を表-5に示す。この試験では、対照区の寄生率は1.2%、マダラカミキリの死亡率は45.4%であったのに対し、放飼区全体の寄生率は62.6%、同じく死亡率は85.2%であり、放飼区の方が有意に高かった(χ^2 乗検定, $p < 0.01$)。また、集積方法と放飼単位を変えた3つの卵放飼試験区では、いずれも対照区と比べて寄生率、死亡率ともに有意に高かった(χ^2 乗検定, $p < 0.01$)。

放飼試験区別の駆除効果を比較すると、供試木を並列に集積し、500卵を20箇所に設置した試験区Aが寄生率55.9%、死亡率80.9%、同様の集積方法で1,000卵を10箇所に設置した試験区Bで寄生率が72.0%、死亡率89.5%、供試木を交差させて集積し、1,000卵を10箇所に設置した試験区Cが寄生率63.5%、死亡率86.6%となり、放飼試験区間に有意な差は認められなかった(χ^2 乗検定, $p > 0.05$)。

筆者(2008)は、立木の胸高付近と地上5~10m程度の枝上にホソカタムシを放飼した場合の放飼効果の比較試験及び、供試木の形態を「立木」、「伐倒」、「玉切り・集積」とした場合の放飼効果の比較試験において、立木の高い位置に放飼した場合の樹冠付近の駆除効果や、

表-5 集積方法の検討に係る卵放飼試験の結果

	材積 (m^3)	蛹室		マダラカミキリの状態								寄生率 (%)	補正致死率 (%)	死亡率 (%)
		樹皮下	材内	生存		被寄生	捕食虫	キツツキ	菌	不明	不在			
				材内	脱出									
対照区	0.20	2	259	150	9	2	107	14	6	3	158	1.2		45.4
放飼区 (小計)	0.75	1	784	45	82	213	336	82	31	71	405	62.6	68.1	85.2
試験区A	0.27		304	33	30	80	136	22	9	20	152	55.9	60.1	80.9
試験区B	0.23	1	233	7	19	67	84	34	12	24	122	72.0	77.1	89.5
試験区C	0.25		247	5	33	66	116	26	10	27	131	63.5	70.1	86.6

表-6 成虫放飼の効果の実験的実証に係る卵放飼試験の結果

	材積 (m^3)	蛹室		マダラカミキリの状態								寄生率 (%)	補正致死率 (%)	死亡率 (%)
		樹皮下	材内	生存		被寄生	捕食虫	キツツキ	菌	不明	不在			
				材内	脱出									
対照区	0.12		110	20	24	17	20	0	0	3	19	27.9		47.6
放飼区 (小計)	0.28		112	12	44	74	29	0	7	15	34	56.9	43.8	69.1
1回放飼	0.15		112	7	33	27	14	0	2	4	21	40.3	18.1	54.0
4回放飼	0.13		110	5	11	47	15	0	5	11	13	74.6	68.6	83.0

集積試験区の駆除効果が他と比べて若干高い傾向があることを示したが、このことは、ホソカタムシの移動・分散のし易さが放飼効果に影響を与えたためではないかと考えた。

そこで、この試験では、駆除対象のマダラカミキリに最も効率よくホソカタムシの孵化幼虫を行き渡らせるための方法として、駆除対象木をできるだけ狭い範囲に集中させ、互いの往来が容易になる集積方法を考えた。しかし、マツの材は、概して通直性にやや乏しいため、無作為に集積すればそれぞれの材の空隙が大きく、他の材との接点が極めて少ない材が生じることが推測される。試験設定に当たっては、試験区A、Bでは無作為に並列に横積みしたのに対し、試験区Cの交差積みでは、極力それぞれの材の接点が多くなるように留意して集積したが、駆除効果は向上しなかった。このことは、一見接点の少ない集積方法でもホソカタムシの孵化幼虫は十分に移動・分散しており、外観上の移動経路の制約が、ホソカタムシの移動・分散や寄生部位の制約に直接的に作用していないことを示唆していると考えられた。

(2) 成虫放飼の効果の実験的実証

結果を表-6に示す。対照区の寄生率は27.9%、マダラカミキリの死亡率は47.6%、5月下旬に10,000卵を放飼した試験区の寄生率は40.3%、マダラカミキリの死亡率は54.0%であった。一方、2,500卵を1週間毎に4回に分けて放飼した放飼区の寄生率は74.6%、マダラカミキリの死亡率は83.0%に上り、いずれの試験区に対しても有意に高かった (χ^2 乗検定, $p < 0.01$)。

浦野(2002)は、ホソカタムシにとってのマダラカミキリの寄生資源としての価値及び利用効率が、蛹の段階において最も高いことを報告した。これまでに行った放飼試験や増殖試験においても、マダラカミキリの終齢幼虫期以降の全ての発育ステージで寄生が確認されているものの、終齢幼虫から蛹に最も旺盛に寄生する傾向があった。即ち、マダラカミキリの終齢幼虫期から蛹に至る時期に、いかにホソカタムシの孵化幼虫が標的に出会う確率を上げるかが、駆除の成否を左右していると言える。マダラカミキリの羽化消長は、年によって若干のばらつきがあり、卵放飼のように駆除対象木にホソカタムシの孵化幼虫が高密度で存在する期間に限られる方法の場合、結果的に駆除率にばらつきが生じることも考えられる。この試験では、卵放飼を5月下旬から開始したが、1回放飼区(10,000卵)の放飼効果は、これまでの卵放飼の成績と比べて良い成績ではなかった。また、従来の方法のように、遅くとも5月上旬までに放飼を完了させようとすれば、その時期はホソカタムシの室温環境下の産卵数がまだ少なく、必要な卵数を確保するためには多くの成虫を保有する必要があるため、相対的に資材のコスト

が高くなる。この放飼試験の結果から、ホソカタムシの活用にあたっては、成虫放飼が、卵放飼に比して安定的かつ低コストでホソカタムシの放飼効果が得られる方法であることが示唆された。ただし、この試験は、放飼成虫により放飼木に継続的に卵が供給されることを前提としている。実際の成虫放飼による駆除効果にはばらつきがあり、そのことが放飼成虫の分散に起因している可能性も考えられる。従って、成虫放飼の駆除効果をこの試験結果から期待されたとおりに発揮させるためには、成虫を一定期間放飼木に留めるような放飼方法を検討する必要があると考えられた。

IV おわりに

本研究では、ホソカタムシの単独利用の一つの方法として、同じ被害地に継続的に連年放飼した場合の、ホソカタムシの定着と効果の持続の可能性が示された。これについては、今後、実証的な放飼の取り組みを繰り返して、より有効な活用方法を確立していく必要がある。

しかし、ホソカタムシを松くい虫防除資材として適用する上で、最も問題となるのは、ホソカタムシ自体がマツ材線虫病による被害マツや標的とするマダラカミキリそのものに、ほとんど誘引されない点にあると考えられる(浦野ら 2007)。筆者(2008)が、岡山県笠岡市地内の松くい虫激害地で行った放飼試験でも、本研究で行った和気町地内のマツ林同様に70~80%台の死亡率に留まった。また、この激害地での試験では、ホソカタムシの放飼箇所からマダラカミキリの寄生箇所までの距離と寄生率に明確な傾向はなかった。これは、放飼したホソカタムシが自然に分散し、標的とするマダラカミキリに辿り着く過程に、明確な指向性がないというこれまでの報告を支持しているものと考えられる。そのため、寄生率を高めるためには、放飼頭数を大幅に増やした場合の寄生率がどのように変化するのか、効果に見合うコストの分岐点を念頭に置きながら検証する必要がある。

また、これまでに筆者が行った野外放飼試験や既報の文献では、野外マツ林にホソカタムシを放飼した時のマダラカミキリの死亡率は、ばらつきがあるものの概ね85%程度が上限であった(石井ら 2004, 浦野 2006・2007b, 牧野 2007, 牧本 2008, (独)森林総合研究所 2007)。これは、本試験地よりも被害率が低い林分のデータに基づいて、微害林を微害のまま維持するために必要であったとした吉田(2005)の試算値である死亡率93%に達しておらず、ホソカタムシの放飼による駆除効果が、その後のマダラカミキリの生息密度や松くい虫被害率の変化にどのように影響を及ぼすのかは、今後慎重に検討しなければならない。

これまでの試験で行った割材調査時には、放飼部位の直近で、周辺の寄生率が極めて高いにもかかわらず、寄

生されず生存しているマダラカミキリがしばしば見受けられた。これらのことは、ホソカタムシが侵入し難いマダラカミキリの孔道の特性や、ホソカタムシに対して忌避的な作用を及ぼす未知の局所的環境等に起因する可能性がある。その場合、ホソカタムシの移動・分散に係る指向性を人為的にコントロールすることは極めて困難であり、ホソカタムシの単独利用による駆除効果をこれまで以上に高めることは非常に難しいと考えられる。独立行政法人森林総合研究所（2002）は、ホソカタムシの単独使用による駆除効果が低くても、現行防除法を補完する方法を確立することで、有効に活用できる可能性があることを示した。浦野ら（2007）は、ホソカタムシを予防散布を補完する手法として活用する方法を提案した。また、天敵や物理的防除法には、有望視されながらも駆除率や効果の安定性などにより実用化に至らなかったものも多い。ホソカタムシの松くい虫防除資材としての活用は、さらなる効果の向上を図ることと合わせて、既存技術やその他の天敵等との複合的な活用方法を検討し、最も有効な利用技術を確認する必要がある。

ホソカタムシは、これまでに各機関で研究がなされてきた松くい虫の天敵生物の中で、既に天敵防除資材として農薬登録がなされているボーベリア菌製剤と並んで、防除資材としての実用化に最も近づいたものの一つである。ボーベリア菌不織布製剤は、その利用に際してカーバム剤を使用する伐倒燻蒸処理とほぼ同様の作業工程を要し（福井 2006, 曾根ら 2007）、製剤価格はカーバム剤と比べて高価である。一方、ホソカタムシは、現時点では駆除効果がボーベリア菌製剤にやや劣るものの、使用に際しての作業工程を大幅に簡素化しても一定の効果が得られることが判っており、施用地を選ばない安価で安全な防除資材として、大きな期待が寄せられている。今後は、既存の防除法を補完する新たな防除方法の一つとして、本種が実用に供され、多くのマツ林で利用されることを願う。

参考文献

- Abbott, W. S (1925) A Method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. econ. ent.* 18-2, pp265-267.
- (独) 森林総合研究所 (2002) 松くい虫被害の総合的防除法の確立。松くい虫被害の生物的防除による総合的研究調査, pp. 45~53.
- (独) 森林総合研究所 (2007) サビマダラオオホソカタムシを利用したマツノマダラカミキリ防除技術の開発。森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集16.
- 福井修二 (2006) 天敵生物 *Beauveria bassiana* によるマツノマダラカミキリ成虫駆除試験. 島根中山間セ研報 2 : 69-76.
- 池田浩一 (1983) マツノマダラカミキリの天敵野鳥に関する研究 (I) マツ林の冬期の鳥相について. 日林九支論36 : 205-206.
- 池田浩一 (1984) マツノマダラカミキリの天敵野鳥に関する研究 (II) マツ林の繁殖期の鳥相について. 日林九支論37 : 213-214.
- 池田浩一 (1986) マツノマダラカミキリの天敵野鳥に関する研究 (III) マツ林の繁殖期の鳥相について. 日林九支論39 : 163-164.
- 井上悦捕 (1991) マツノマダラカミキリの天敵サビマダラオオホソカタムシに関する研究. 岡山県林試研報 10 : 40-47.
- 井上悦甫 (1993) マツノマダラカミキリの天敵昆虫サビマダラオオホソカタムシについて. 森林防疫 42 : 171-175.
- 石井哲 (2003) マツ林の保全に関する総合研究—マツノマダラカミキリの天敵昆虫サビマダラオオホソカタムシの活用—. 岡山県林試研報19 : 17-33.
- 石井哲, 守安昇平, 安藤義朗, 中村学, 金田利之, 西澤絵奈 (2004) サビマダラオオホソカタムシ成虫及び卵のアカマツ野外枯死木への放飼試験. 岡山県林試研報20:19-31.
- 石井哲 (2004) マツノマダラカミキリ穿入丸太上でのサビマダラオオホソカタムシ放飼成虫の分散と寄生率. 森林応用研究13(1):43-48.
- 勝又敏彦, 尾花健喜智, 小松利昭, 遠藤輝男 (1984) 松の枯損防止新技術に関する総合研究—天敵の利用技術に関する研究—. 宮城県林試報1 : 105-122.
- 気象庁HP気象統計情報ページ (<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>) 2012. 2. 1アクセス.
- 牧野俊一 (2007) サビマダラオオホソカタムシを利用したマツノマダラカミキリ防除技術の開発. 平成18年度森林総合研究所年報 : p54.
- 牧本卓史 (2008) 松くい虫の天敵利用技術の確立. 岡山県林業試験場研究報告23 : 27-36.
- 野淵輝 (1980) 松くい虫の天敵昆虫. 森林防疫29(2)4-9.
- 岡本安順 (1999) マツノマダラカミキリの天敵サビマダラオオホソカタムシの寄生状況と生態調査. 森林応用研究8:229~232.
- 岡山県農林水産部 (2011) 岡山県の森林・林業統計.
- 岡山県農林水産部林政課 (2011) 岡山県の森林資源.
- 曾根晃一・富元雅史・徳染貴洋・松山健太郎・畑邦彦・樋口俊男・岡部武治 (2007) ボーヴェリア培養型不織布製剤によるマツノマダラカミキリ成虫駆除効果を高める被害材の被覆方法の検討. 日林誌89(4) : 262-268.
- 竹常明仁 (1982) マツノマダラカミキリの天敵サビマダ

- ラオオホソカタムシ. 森林防疫31: 228-230.
- 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微生物による防除試験. 広島県林試研報18: 39-62.
- Togashi, K (1986) Effects of the initial density and natural enemies of the survival rate of the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae), in pine logs. Appl. ent. zool. 21 (2): 244-251.
- 浦野忠久 (2002) サビマダラオオホソカタムシの適応度と寄主ステージ及び寄生個体数との関係. 日林講113: 165.
- 浦野忠久 (2005) サビマダラオオホソカタムシを放飼したアカマツ樹幹内に見られるマツノマダラカミキリ原因不明死亡個体に関する検討. 日林要旨集.
- 浦野忠久 (2006) サビマダラオオホソカタムシのマツ枯損被害地における放飼試験 (3回目). 平成16年度森林総合研究所関西支所年報46号: p36.
- 浦野忠久 (2007a) サビマダラオオホソカタムシの網室内における移動分散. 日林講118.
- 浦野忠久 (2007b) サビマダラオオホソカタムシのマツ枯損被害地における放飼試験 (土着地域における放飼試験). 平成18年度森林総合研究所関西支所年報48号: p48.
- 浦野忠久・中村克典・牧本卓史 (2007) サビマダラオオホソカタムシのマツノマダラカミキリ生物的防除への利用における展望. 森林防疫56: 224-232.
- 吉田成章・中村克典・埴田宏 (1997) 実用化された防除手法の評価とマツを取り巻く環境等の検証. 松くい虫 (マツ材線虫病) - 沿革と最近の研究 -, pp. 95~121, 全国森林病虫獣害防除協会編.
- 吉田成章 (2005) マツ材線虫病の防除にあたって必要な防除率の提案. 森林防疫54: 111-115.
- 吉田成章 (2006) 研究者が取り組んだマツ枯れ防除 - マツ材線虫病防除戦略の提案とその適用事例 -. 日林誌88: 422~428.