

機関番号：33918

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20580162

研究課題名(和文) 森林における菌類と共生する穿孔性昆虫の発生戦略に関する実証的・理論的研究

研究課題名(英文) Corroborative and theoretical study on reproductive strategy of tree-boring insects associated with fungi in forests

研究代表者

福田 秀志 (FUKUDA HIDESHI)

日本福祉大学・健康科学部・教授

研究者番号：50319307

研究成果の概要(和文)：ニホンキバチ共生菌のスギ丸太における繁殖に適した含水率は100～150%の間で、含水率がこれよりも低いあるいは高い条件では共生菌の長期間の繁殖は困難と考えられた。巻き枯らし木において、ニホンキバチは樹種・処理時期に関わらずほとんど発生せず、共生菌を持たないオナガキバチがヒノキ11月処理木から主に発生した。カシノナガキクイムシの生態から考案した総合防除対策を行った結果、新たな被害木の枯死を激減させることができたが、穿入生存木の枯死を助長させる結果となった。

研究成果の概要(英文)：The optimal water contents in wood for development of *Urocerus japonicus* fungal symbiont would be 100-150%. Little number of *U. japonicus* emerged from barking trees despite tree-species and girdling seasons, whereas *Xeris spectrum* without fungal symbiont mainly emerged from *Chamaecyparis obtusa* girdled in November. As the results of integrated control conceived from the ecology of *Platypus quericivorus*, the tree death by the new attacks by beetles decreased considerably, whereas the death of trees attacked last year was promoted.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：キバチ類、養菌性クイムシ類、共生菌、総合防除

1. 研究開始当初の背景

森林は、陸上における最大の生態系であり、そこには様々な昆虫が生息している。昆虫各種の生活史は個体の適応度を高くするように進化してきたと考えられる。生存率に大きく影響する要因は種が生息する環境によって大きく異なる。これまでの研究は葉や茎の上のような露出した環境に生息する昆虫についておもに行われてきた。これに対して、

木の中のような保護された環境にいる昆虫の生活史についての研究は少ない。木の中の環境は、葉に比べて栄養的に劣り、木の防御反応はその生死によって起こったり起こらなかったりする。このため、木の中で発育する昆虫(材穿孔性昆虫)は微生物と共生的関係を結んで、栄養条件の改善を行うことが多く、その代表的なものにキバチ類や養菌性クイムシ類が知られている。また、生きた木

の中で発育する穿孔性昆虫は木の防御反応の低い時期と感受性の高い発育段階が一致するように生活史を組み立てている。これに対して、枯れたばかりの木は防御反応を示さないが、その発生時期と場所の予測性は低い。

2. 研究の目的

本研究では、森林内で餌資源としての発生予測が難しい衰弱しているあるいは枯れたばかりの木を利用して生活する森林昆虫の発生戦略を菌類と共生するキバチ類および養菌性キクイムシ類を材料として、実験的・理論的に明らかにすることを目的とする。また、これらの知見を活用して、近年森林において害虫化しているキバチ類、キクイムシ類の防除法を提案し、その効果について明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 材の含水率とニホンキバチ共生菌の繁殖との関係

先行研究で、材の含水率とニホンキバチの繁殖との関係が示唆されているため、丸太の含水率の違いにより共生菌の繁殖状況が変化するかを調査した。新鮮なスギ丸太にニホンキバチの共生菌を接種し、それらの丸太を含水率に変化をもたせるため3処理区（水苔処理区、水差し処理区、対照区）に分け保管した。その後、丸太の含水率および共生菌の分離率の経時変化を調査した。

(2) 巻き枯らし間伐におけるキバチ類の繁殖状況

三重県鈴鹿市西庄内町のスギ・ヒノキ人工林（標高約420m）で、2005年11月、2006年2月、5月、8月の各月にスギ・ヒノキ各6本を対象に、根元から約70cmと120cmに位置にノコギリを用いて外皮周囲に切り込みを入れ、切り込みと切り込みの間の樹皮を、カマ、ヘラを用いて形成層まで剥いだ。処理木の樹齢は両樹種とも27年生、胸高直径はスギが 16.1 ± 2.0 cm（平均値±標準偏差）、ヒノキが 14.8 ± 2.3 cmであった。処理後、2006年8月から2007年10月まで（2007年2月を除く）各月に1回、目視により衰弱度を調べた。衰弱度は葉の変色の度合いを5段階、0（変調なし）・1（1/3以下が変色）・2（1/3～2/3が変色）・3（2/3以上が変色）・4（全葉変色）に分けて記録した。2006年11月に、各樹種・各処理時期の平均的な衰弱経過を示したスギ・ヒノキ各2本を選定し伐倒後、三重県科学技術振興センター内の網室に搬入した。伐倒した各処理木の剥皮部の上部6mまでを1m丸太に玉切りし、下から偶数番目の丸太について、2006年11月にナタ、ヘラ、小刀を用いて剥皮し、加害が認められたニホンキバチの産卵孔数・樹皮下キクイム

シ類の母孔数を調べた。さらに、3夏目の5月～9月に脱出する昆虫相を調査した。

(3) 養菌性キクイムシ、カシノナガキクイムシの総合防除

愛知県知多市のコナラ・アベマキを中心とする雑木林において、すべてのコナラ183本とアベマキ9本について、胸高直径（DBH）を測定し、2009年6～10月および2010年6～9月には月一度被害状況（加害の有無、加害度、樹木の生死）を記録した。なお、2009年の最終的な被害状況は10月のデータを、2010年については9月のデータを用いた。2010年には、総合防除を行った。2009年の枯死木については、新成虫発生前の2010年4月中旬までにすべて伐倒し、玉切り後、チェーンソーで数ヶ所に切り込みを入れ、丸太を積み上げ、厚手のビニールシートで覆い、NCSくん蒸処理をおこなった。

2009年に加害された生存木（2009年穿入生存木）の一部（加害度2以上はすべて）（コナラ24本、アベマキ3本）については、2010年5月下旬に地上高約5mの位置から地際部付近まではポリエチレン製フィルムを、根張りフィルムを巻くことが困難な地際部については薄いビニールシートを巻きつけ最下部は土に埋めた。その中に、殺虫剤を注入した（ラップ巻き法）。その後、フィルム内で発生した新成虫の殺虫効果について観察した。

コナラ未加害木のうち72本については、ナラ菌およびカシナガの餌となる酵母に対する殺菌効果が確かめられている殺菌剤を注入した。しかし、コナラでは樹木枯死は防げるが、次世代成虫は多く脱出することが報告されているため、樹幹注入によりカシナガ幼虫に対する殺虫効果が認められているアセタミプリド液剤を同時に注入した。注入時期は5月中旬～下旬とした。殺菌剤と殺虫剤の注入により、対照木（非注入木）との枯死率の違いを比較した。

未加害木への被害を軽減させるため、おとり木を設置した。約0.4haの林分に15本のおとり木を設置し、誘引されたカシナガ成虫数の指標とするため、地際部付近に粘着シートを巻きつけた。比較のため、同一林分内の5本の非おとり木（すべて注入木）を対照木として、同様の調査を行った。フェロモンの設置は2010年6月中旬に行った。

4. 研究成果

(1) 材の含水率とニホンキバチ共生菌の繁殖との関係

ニホンキバチ共生菌を接種したスギ丸太の含水率は、水差し処理区では接種1週間後には150%まで上昇した。1ヶ月後には200%に達し、3ヶ月後には250%まで達した。水苔処理区では、接種2週間後では約110%で

あったが、その後 150%まで上昇した。対照区では約 90%と横ばいであった。共生菌は、水苔処理では約 10~35%の分離率で、対照区の約 7~30%よりやや高かった。一方、2週間後では水苔処理のみで繁殖が確認され平均 17%の分離率であった。しかし、それ以降は共生菌の分離が確認されなかった。接種後初期段階でより水苔処理で対照区より分離率がやや高かったのは、対照区の平均含水率が 100%以下と低かったのに対して、水苔処理では 110~120%であり、その含水率が共生菌の繁殖に適していたのかもしれない。しかし、1ヶ月以降は水苔処理区で含水率が約 150%以上と高含水率となったことで繁殖できなくなったのかもしれない。水差し処理区で全く分離できなかったのは、接種 1 週目から含水率が 150%以上と高かったのが原因かもしれない。したがって、共生菌の繁殖に適した含水率は 100~150%の間で丸太の含水率が長くこの範囲に維持されることが、共生菌が長期間繁殖できる条件であることが示唆された。これらのことから、繁殖を抑制するには高含水率もしくは低含水率にするために、丸太を細かく玉切り処理をすることで丸太の含水率が高くなるようにすることや葉枯らし処理のように葉をつけたまま山側に倒しておくことにより葉先から間伐木の水分を蒸散させ低含水率とするなどの対策が考えられる。

(2) 巻き枯らし間伐におけるキバチ類の繁殖状況

処理木の外見上の変調は、処理月に関わらず 2006 年 8 月までは認められなかったが、9 月からスギの 11 月および 2 月処理木とヒノキの 11 月および 5 月処理木で確認された。また、11 月および 2 月処理木では全般にスギで変調の進行が早く、5 月および 8 月処理木では樹種間で大きな差はみられなかった。11 月処理木は 2006 年 12 月までに、2 月処理木は 2007 年 6 月までにすべてが全葉変色したが、スギの 5 月処理木、ヒノキの 8 月処理木の中には処理後二夏を経過した 2007 年 11 月時点でも全葉変色しない個体が認められた。1 m 丸太 1 本あたりのニホンキバチの産卵孔数は、スギでは 5 月処理木で最も多く、ついで 11 月処理木で多かったが、2 月、8 月処理木では全く認められないあるいはほとんど認められなかった。しかし、処理月間で有意差は認められなかった ($p > 0.05$ 、Scheffe's test)。ヒノキでもスギと同様に 5 月処理木で最も多く、ついで 11 月、2 月、8 月処理木の順であった。またヒノキでは、5 月処理木と 2 月および 8 月処理木の産卵孔数の間に有意差が認められた ($p < 0.05$ 、Scheffe's test)。一方、樹皮下キクイムシ類の母孔についてはスギでは 5 月処理木で

のみ認められ、1 m 丸太あたり 2.4 ± 5.9 個 (平均値 \pm 標準偏差) で、ヒノキでは 11 月および 5 月処理木のみで認められ、それぞれ 2.5 ± 3.1 個、 0.8 ± 1.2 であった。これらの母孔の多くは細い丸太 (すなわち高い位置の丸太) で認められた。脱出した主な穿孔性昆虫は、ヒノキノキクイムシ (*Phloeosinus rudis*)、キイロホソナガクチキムシ (*Serropalpus niponicus*)、ニホンキバチ (*Urocerus japonicus*) であった。ヒノキノキクイムシは、2007 年 6 月中旬から下旬、キイロホソナガクチキムシは 8 月中旬をピークとして 6 月下旬から 10 月上旬に脱出した。ニホンキバチは 7 月上旬から 8 月下旬に脱出した。ヒノキノキクイムシはスギからは処理月に関わらず脱出が認められなかったが、ヒノキでは 11 月処理木、5 月処理木から脱出し、11 月処理木で多かった。また、ほとんどの個体が細い丸太から発生した。キイロホソナガクチキムシは、両樹種ともすべての処理木から脱出したが、スギではヒノキより少なく、ヒノキの 11 月処理木で最も多く発生し、5 月、2 月、8 月処理木の順に発生数が減少し、8 月処理木では極めて少なかった。一方、ニホンキバチは樹種・処理月に関わらず発生数が極めて少なく、発生した位置はすべて剥皮部の下からであった。穿孔性昆虫の産卵・穿孔は、11 月処理木および 5 月処理木で多かった。11 月処理木で多かった理由は、産卵・穿孔時期である一夏目の時点で衰弱が最も進行していたことが理由として考えられる。一方、5 月処理木はニホンキバチやキクイムシ類の発生時期直前に処理されているため処理木から発せられる揮発成分により産卵・穿孔が誘引されたものと考えられる。それに対して、8 月処理木はこれら 2 種の昆虫の発生のピークを過ぎた時期に処理をしているため、産卵・穿孔が少なかったと考えられる。また、2 月処理木で産卵・穿孔数が少なかった理由は不明であるが、付近により魅力的な 11 月処理木あるいは 5 月処理木が存在したことが原因かもしれない。キクイムシ類はスギに対して穿孔は認められたが、発生は全く認められなかった。一方、ヒノキでは、キクイムシ類の穿孔数が多かった 11 月、5 月処理木でヒノキノキクイムシの発生数が多い傾向がみられた。キイロホソナガクチキムシもスギではヒノキよりも発生数が少なく、全体としてヒノキで穿孔性昆虫の発生が多かった。穿孔性昆虫の発生数が多かったヒノキでは、11 月処理木で発生数が多く、8 月処理木では少なかった。加藤(2007)は、キクイムシ類の発生は、春に穿孔する種だけでなく秋に穿孔する種も存在するため、処理月と明瞭な関係がないと報告しているが、本調査地においては、秋に穿孔するキクイムシ類が認められなかったため、処理月間で差が認

められたと考えられる。しかし、ニホンキバチについては、両樹種とも産卵数の多少に関わらず、脱出数は極めて少なかった。巻き枯らし間伐木は処理後時間が経過するにつれて含水率が大きく低下する性質があり（加藤 2007）、ニホンキバチは含水率の低い丸太では成育が悪いことが知られているため（佐藤ら 2004）、巻き枯らし間伐木はニホンキバチの成育に適さないのかもしれない。比較的含水率の高い剥皮部下部（福田 未発表）からのみニホンキバチが脱出したことは、このことを支持するものと考えられる。以上の結果から、少なくとも本調査地域では、処理後二夏目時点の穿孔性昆虫の発生の危険性はスギでは処理月に関わらず少なく、ヒノキでは8月あるいは2月処理木で少ないと考えられた。

処理3夏目には、主にヒメスギカミキリ (*Callidiellum rufipenne*)、ヒノキノクイムシ、キイロホソナガクチキムシ、オナガキバチ (*Xeris spectrum*) が発生した。林業害虫の一種であるマダクロホシタマムシ (*Ovalisia vivata*) の発生は極めて少なく、スギの11月、2月、5月処理木から、それぞれ3、2、2頭脱出したのみであった。ヒメスギカミキリはヒノキの8月処理木から多く発生した。ヒノキノクイムシの発生は少なく、ヒノキ8月処理木のみからであった。キイロホソナガクチキムシは主に11月および5月処理木で発生したが、発生数は少なかった。このように、ヒメスギカミキリとヒノキノクイムシは主にヒノキ8月処理木から発生した。これらの昆虫は枯死直後あるいは衰弱木で繁殖する昆虫であり、処理2夏目時点でヒノキ8月処理木の1本が枯死直前の状態であったことと関係しているのかもしれない。しかし、スギでほとんど発生しなかった理由については不明であった。キバチ類については、ニホンキバチは樹種・処理時期に関わらず全く発生しなかったが、オナガキバチがヒノキ11月処理木から主に発生した。巻き枯らし木におけるキバチ類の発生について、小野里 (2008) は、ニホンキバチは極めて少数発生するのみだが、オナガキバチは処理3夏目経過以降も発生すると報告している。加藤 (2007) は、キバチ類は全く発生しないと報告している。稲田 (2008) は、ニホンキバチが処理2夏目に少数発生し、オナガキバチも発生すると報告している。したがって、巻き枯らし木からのニホンキバチの発生数は処理時期に関わらず少なく、巻き枯らし木は生育に不適であると考えられる。また、オナガキバチはニホンキバチの共生菌を利用して、主に処理3夏目に発生するものと考えられる。処理3夏目に多く発生した昆虫はヒメスギカミキリ、キイロホソナガクチキムシ、オナガキバチであった。ヒメスギカミキ

リ、キイロホソナガクチキムシは二次性昆虫であることが知られておりオナガキバチは、材変色を引き起こす共生菌を持っていない。したがって、処理3夏目に深刻な林業被害をもたらす新たな害虫の発生はないと考えられた。

(3) 養菌性クイムシ、カシナガクイムシの総合防除

2010年6月中旬にラップ巻き処理木を観察したところ、穿入孔付近に多数のカシナガ新成虫が死亡している様子が観察された。しかし、2010年7月上旬には、フィルム内で脱出した新成虫が大量に再加害している様子が観察された。ラップ巻き処理木では、コナラ24本中18本が再加害を受けその内9本が加害度2以上ですべて枯死した。アベマキでは3本中3本が再加害を受け3本とも加害度2以上で1本が枯死した。

コナラ注入木72本中20本が加害され3本が枯死した。枯死率(枯死本数/加害本数)×100(%)は、15%であった。一方、コナラ非注入木は8本が加害され2本が枯死した(枯死率25%)。注入木・非注入木とも加害度1のものには枯死した個体は認められなかったため、加害度2以上で枯死率を算出したところ、注入木では12本中3本で25%、非注入木では4本中2本で50%と注入により、枯死を半減させることができたが、注入しても加害度2以上では一定割合が枯死した。8月上旬に粘着シートに捕殺された個体数を計数したところ、おとり木では31.9±43.3頭(平均値±標準偏差)であったのに対し、対照木では7.0±8.2頭と有意に多くの成虫が捕殺された(p<0.05, t-test)。また、おとり木では15本中3本(20%)でカシナガの加害が確認されたが、対照木では加害された個体はなかった。

2008年にはコナラ183本(38.4±11.8cm(平均DBH±標準偏差))中33本が加害され、3本が枯死したが、アベマキ9本(40.4±12.2cm)は加害されなかった。2009年には新たにコナラ41本が加害され13本が枯死した。アベマキも4本が加害されたが枯死したものはなかった。2008年に加害されたコナラ生存木(2008年コナラ穿入生存木)30本中2009年に再加害されたものはなかった。2010年には8本が再加害されたが、枯死したものはなかった。はじめて加害された本数(初加害本数)は、コナラでは2008年から2009年にかけては増加したが、総合防除を行った2010年ではおとり木への加害を含めても2009年の半数以下に減少した。また、未加害木の加害された割合((初加害本数/未加害木本数)×100(%) (初加害率)も、コナラでは2008年から2009年にかけて増加したが、2010年では2009年に比べて減少した。初加害木中

の枯死木本数は、コナラでは2008年から2009年にかけて約4倍に増加したが、総合防除を行った2010年では2009年の半数以下となった。一方、2008年、2009年とも枯死木本数が0であったため予防措置を行わなかったアベマキでは2010年には4本が加害され(いずれも加害度2以上)で、そのうち2本がはじめて枯死した。コナラ枯死木の平均DBHはコナラ全体の平均DBHよりもすべての年で大きかったが、年次間では有意差は認められなかった ($p>0.05$ 、Sheffe's test)。一方、2010年に枯死したアベマキの平均DBHはアベマキ全体の平均DBHよりやや小さかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① 福田秀志・小堀英和・衣浦晴生、知多半島におけるブナ科樹木萎凋病の現状と防除活動の効果、中部森林研究、査読有、Vol. 59、2011、249-252
- ② 川村圭司・佐野 明・福田秀志、巻き枯らし間伐木における害虫発生リスク評価、中部森林研究、査読有、No. 57、2009、259-260
- ③ 福田秀志・佐野 明・久保田祐介・鈴木啓介、穿孔性昆虫類の巻き枯らし間伐木利用状況、樹木医学研究、査読有、Vol. 12、No. 3、2008、125-126

[学会発表] (計3件)

- ① 福田秀志・小堀英和・衣浦晴生、愛知県知多半島で行ったナラ枯れの総合防除とその効果、2010.11.14、静岡コンベンションセンター
- ② 福田秀志・小堀英和・衣浦晴生、知多半島におけるブナ科樹木萎凋病の現状と防除活動の効果、日本森林学会中部支部大会、2010.10.16、三重大学
- ③ 川村圭司・佐野 明・福田秀志、巻き枯らし間伐木における害虫発生リスク評価、日本森林学会中部支部大会、2008.10.11、岐阜大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福田 秀志 (FUKUDA HIDESHI)
日本福祉大学・健康科学部・教授
研究者番号：50319307

(2) 連携研究者

富樫 一巳 (TOGASHI KATUMI)
東京大学・農学生命科学研究科・教授
研究者番号：30237060