

マツノマダラカミキリの初期保持線虫数に及ぼすニセマツノザイセンチュウの影響：競争種によるマツ材線虫病拡大阻害機構

軸丸 祥大

軸丸祥大：マツノマダラカミキリの初期保持線虫数に及ぼすニセマツノザイセンチュウの影響：競争種によるマツ材線虫病拡大阻害機構，広島県林技セ研報39：31～38，2007。人工蛹室（任意の線虫を媒介昆虫に乗り移らせる方法）を用いて，ニセマツノザイセンチュウがマツノマダラカミキリのマツノザイセンチュウ初期保持線虫数に及ぼす阻害効果を調べた。人工蛹室に2種線虫を接種した処理区では，マツノザイセンチュウのみを接種した処理区よりもマツノマダラカミキリの初期保持線虫数が有意に少なかった。しかしながら，二つの処理区間で分散型第3期幼虫数（マツノマダラカミキリに乗り移るステージである分散型第4期幼虫に脱皮する可能性のある線虫数）に違いは無かった。2種線虫を接種した処理区における分散型第4期幼虫の出現率の低さと分散型第4期幼虫数の少なさが，この処理区における初期保持線虫数の低下に結びついたと考えられる。媒介昆虫の初期保持線虫数に及ぼすニセマツノザイセンチュウの阻害効果をマツ材線虫の防除方法へ応用することを論議した。

「キーワード」ニセマツノザイセンチュウ，マツノザイセンチュウ，種間競争，マツノマダラカミキリ，初期保持線虫数，便乗関係，マツ材線虫病

1 はじめに

外来種の侵入は世界的に生態系の攪乱を引き起こしている^{4) 5) 7) 8) 12) 15)}。森林生態系においても事態は同様であり，世界三大流行樹木病害（ニレ立ち枯れ病，五葉マツ発疹さび病およびクリ胴枯れ病）はすべて侵入生物による病害である。異なる大陸間の貿易の増加などにより，新たな生態系へ様々な生物が移動する機会が増加したことがその原因と考えられている。一方，その地域の生物学的・非生物学的な要因が外来種の侵入・拡大に対して障害となることも知られている^{6) 20) 21)}。

マツ材線虫の病原体であるマツノザイセンチュウは北アメリカ原産と考えられており，1900年代初頭に日本に侵入したと言われている^{20) 21)}。本病の被害は我が国に続き，中国，台湾，韓国およびポルトガルに拡大し，世界のマツ林に対して大きな脅威となっている。このことから，前述の世界三大流行樹木病害にマツ材線虫病を加えて世界四大流行樹木病害と定義されるようになった。それに対して，マツノザイセンチュウの近縁種であるニセマツノザイセンチュウは，日本に土着であり，わが国土着のマツに対して非病原性である²¹⁾。これら2種線虫の生態は次のように類似している。2種の生活環には増殖型と分散型の2型が存在する。好適な環境下では増殖型幼虫が出現して個体数を増加させ，環境が悪化した場

合には増殖型から分散型に線虫の生活環が移行する¹⁹⁾。分散型の生活環には分散型第3期幼虫と分散型第4期幼虫という二つの幼虫期が含まれる（図1）。分散型第4

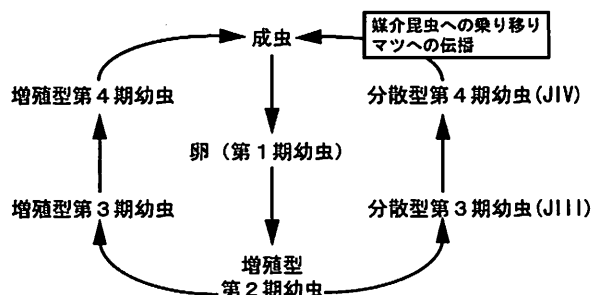


図-1 マツノザイセンチュウおよびニセマツノザイセンチュウの生活環（前原¹⁹⁾）を改変

期幼虫は宿主となるマツ間を移動する特殊なステージである。媒介昆虫（*Monochamus*属カミキリ）の蛹や新生成虫が近くにいた場合，分散型第3期幼虫（JIII）は分散型第4期幼虫（JIV）へ脱皮する。分散型第4期幼虫は媒介昆虫の成虫へ乗り移り，媒介昆虫の摂食痕や産卵痕を經由して新たなマツへ侵入する^{3) 16) 21) 22)}。2種線虫は餌や媒介昆虫などの資源を共有しているため，マツ林において共存した場合に厳しい種間競争が起こること

が予想される。例えば、Kishi¹⁹⁾によって、マツ材線虫病の激害地域ではニセマツノザイセンチュウがマツノザイセンチュウに置換されたことが報告されている。これに対して、広島県北部のニセマツノザイセンチュウ分布域ではマツノザイセンチュウが侵入したにも関わらず、その分布拡大が阻害されていることが我々の研究から明らかになり、マツ材線虫病拡大阻害へのニセマツノザイセンチュウの関与が示唆されている。

媒介昆虫が枯死木から脱出するときに保持している線虫数(初期保持線虫数)の違いは新たな宿主に伝播される線虫数に影響する^{9) 20)}。それゆえ、2種線虫の競争を考える上で初期保持線虫数は重要な要因である。通常、枯死木中からは一種の線虫が検出されることが多いが、長島ら²⁰⁾やKishi¹²⁾は野外条件下において同一のマツ枯死木から2種線虫が検出されることを報告している。しかしながら、2種線虫が生息するマツから脱出する媒介昆虫の初期保持線虫数については全く検討されていない。本研究の目的は(1)媒介昆虫へ乗り移る際のニセマツノザイセンチュウとマツノザイセンチュウの競争関係を調べることと、(2)この競争関係を応用したマツ材線虫病防除技術の開発の可能性を論議することである。

2 材料と方法

2.1 2種の線虫

広島県庄原市高野町において分離したニセマツノザイセンチュウおよびマツノザイセンチュウを供試した。これらの線虫を灰色カビ病菌(*Botrytis cinerea* Pers.)の菌叢上で25℃において培養した。培養2-3週間後、ベールマン法(25℃, 24時間)を用いて線虫を回収し、各線虫について1mlあたり3,000頭の濃度になるように蒸留水を用いて調整した。2種の混在した線虫懸濁液は、2種それぞれの溶液を同量混合することで得た。この溶液には1mlあたり1,500頭のニセマツノザイセンチュウとマツノザイセンチュウがそれぞれ混在していた。

2.2 媒介昆虫

以下の手順で得た広島県三次市産マツノマダラカミキリ個体群を供試した。伐倒後、2週間程度25℃で保管したアカマツ健全木由来の丸太(約70cm)の外樹皮を正方形(1.5×1.5cm)に除去し、露出した材に小さな窪みを作った。この窪みに、孵化直後のマツノマダラカミキリ幼虫を一頭接種した後で、外樹皮を戻し、ガムテープで接着した。丸太一本あたり、10頭程度の幼虫を接種した。幼虫を發育させるためこれらの丸太を25℃で約4ヶ月保管し、その後、休眠を覚醒させるため10℃に約4ヶ月保

管した。休眠覚醒したマツノマダラカミキリ終齢幼虫をこれらの丸太から取り出した。線虫の乗り移り実験を行う直前に測定したこれらのマツノマダラカミキリ幼虫の平均体重は593mg(標準偏差=155mg)であった。

2.3 線虫を媒介昆虫へ乗り移らせる方法

Aikawa et al.²¹⁾によって開発された、任意の線虫を媒介昆虫に乗り移らせる方法(人工蛹室)を用いて乗り移り実験を行った。長さ約7cm, 中央径約4cmの小丸太をアカマツ健全木から切り出した。ドリルを用いてこの小丸太の木口中央部に深さ約5cmの穴を穿ち、人工蛹室として用いた。底に石英砂をひいたポリカーボネイト製容器(高さ11cm, 内径6.7cm)に、人工蛹室が上になるようにこの小丸太を一本ずつ入れた。この容器をオートクレーブ処理(121℃, 15分)し、小丸太の木口に線虫の餌となる青変菌(*Ophiostoma minus* (Hedgcock) H. et P. Sydow)を接種した。小丸太はその後、25℃・全暗の条件下で4週間培養し、青変菌を蔓延させた。その後、小丸太にマツノザイセンチュウ3,000頭を加える処理区(ザイセン処理区)とマツノザイセンチュウ1,500頭およびニセマツノザイセンチュウ1,500頭を加える処理区(2種混在処理区)を設けた。線虫の接種直後、休眠覚醒したマツノマダラカミキリ幼虫を人工蛹室へ一頭ずつ接種し、その後アルミホイルを丸めて作ったボールで人工蛹室を封じた。ザイセン処理区と2種混在処理区へそれぞれ、25および26頭のマツノマダラカミキリ幼虫を供試した。小丸太を25℃・全暗の条件で培養し、毎日マツノマダラカミキリ成虫の脱出を調査した。成虫が脱出していた場合には、性別と体重を記録後、乳鉢と乳棒を用いて一頭ずつすりつぶし、ベールマン法(25℃, 2-3日)により初期保持線虫数を調べた。

2.4 線虫の調査方法

人工蛹室内に残存する線虫数とステージを調べるため、マツノマダラカミキリの脱出直後にナタを用いて小丸太を縦に四分割し、人工蛹室周辺材(厚さ約0.5cm)を採取した。採取した材は剪定バサミを用いて細分し、ベールマン法(25℃, 2-3日)により線虫を抽出した。人工蛹室由来の各サンプルについて平均54頭の線虫をランダムに選別し、生物顕微鏡下で分散型第3期幼虫、分散型第4期幼虫およびその他(増殖型第2期幼虫、増殖型第3期幼虫、増殖型第4期幼虫および成虫)に分類した。マツノザイセンチュウの分散型第3期幼虫は丸い尾端と体内に蓄えられた脂質顆粒による黒化した体色が同定の指標である¹⁹⁾。一方、ニセマツノザイセンチュウの分散

型第3期幼虫は尾端の突起と黒化した体色により形態的に特徴付けられる。ドーム状の頭部、口針の欠如および黒化した体色が分散型第4期幼虫の形態的な特徴である。人工蛹室に集合した総線虫数 (T) は脱出した成虫の初期保持線虫数 (N_i) と人工蛹室に残存した線虫数 (N_p) の和から求めた ($T=N_i+N_p$)。 N_p には人工蛹室周辺の材に残存したJⅢ, JⅣ, 増殖型幼虫および成虫数が含まれる。 N_p に含まれるJⅢ ($R_{JⅢ}$) とJⅣ ($R_{JⅣ}$) は人工蛹室に残存する線虫数 (N_p) と各サンプル中のJⅢおよびJⅣの割合の積から推定した。人工蛹室に存在したJⅢ総数 ($T_{JⅢ}$) は初期保持線虫数, 人工蛹室に残ったJⅢおよびJⅣ数の和から求めた ($T_{JⅢ}=N_i+R_{JⅢ}+R_{JⅣ}$)。JⅣ総数 ($T_{JⅣ}$) は初期保持線虫数および人工蛹室に残ったJⅣ数の和から求めた ($T_{JⅣ}=N_i+R_{JⅣ}$)。人工蛹室に集合した分散型第3期幼虫の割合 (分散型第3期幼虫割合) は人工蛹室に存在したJⅢ総数を人工蛹室に存在した総線虫数で除して求めた ($T_{JⅢ}/T$)。JⅣへ脱皮したJⅢの割合 (分散型第4期幼虫割合) はJⅣ総数を人工蛹室に存在したJⅢ総数で除して求めた ($T_{JⅣ}/T_{JⅢ}$)。媒介昆虫へ乗り移ったJⅣの割合 (乗り移り率) は初期保持線虫数をJⅣ総数で除して求めた ($N_i/T_{JⅣ}$)。

2. 5 調査数量の統計処理

線虫の媒介昆虫への乗り移りに関するそれぞれの過程の線虫数, 分散型第3期幼虫割合, 分散型第4期幼虫割合および乗り移り率を2つの処理間で比較するためt-検定を行った。なお, 統計的検定の前に, 各種の線虫数に

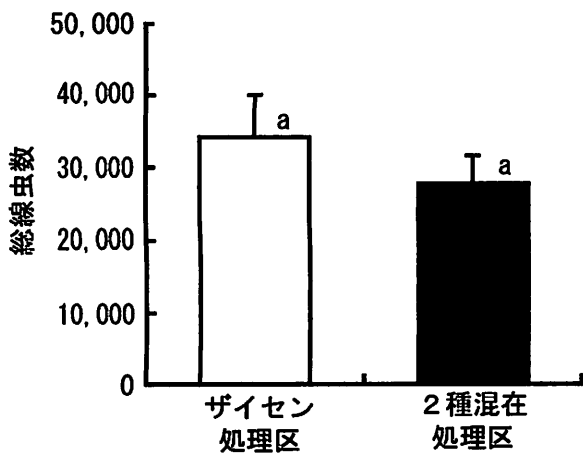


図-2 ザイセン処理区と2種混在処理区における総線虫数

図中の棒グラフおよびバーはそれぞれ各処理区における平均値と標準誤差を示す。異なるアルファベットにはt-検定により有意差があることを示す。

ついては対数変換を, 各種の割合については逆正弦変換をそれぞれ行った。

3 結果

ザイセン処理区では16頭の, 2種混在処理区では19頭のマツノマダラカミキリがそれぞれ脱出した。マツノマダラカミキリ幼虫の接種から成虫脱出までの日数は両処理区間で有意には異ならず, ザイセン処理区 (平均値±標準誤差=39.8±1.9) および2種混在処理区 (平均値

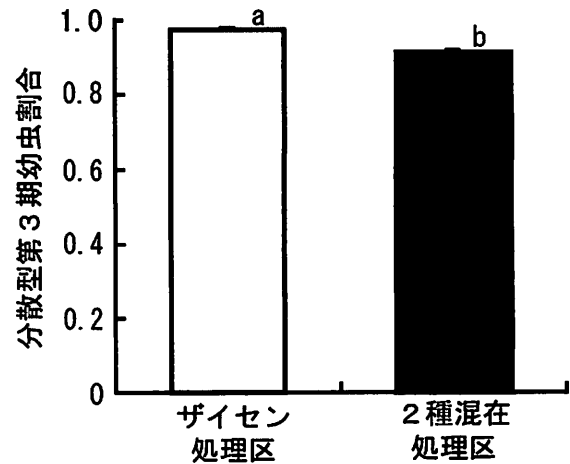


図-3 ザイセン処理区と2種混在処理区における分散型第3期幼虫割合

図中の棒グラフおよびバーはそれぞれ各処理区における平均値と標準誤差を示す。異なるアルファベットにはt-検定により有意差があることを示す。

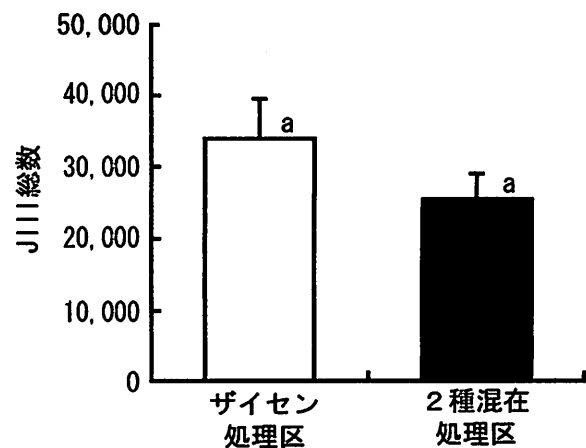
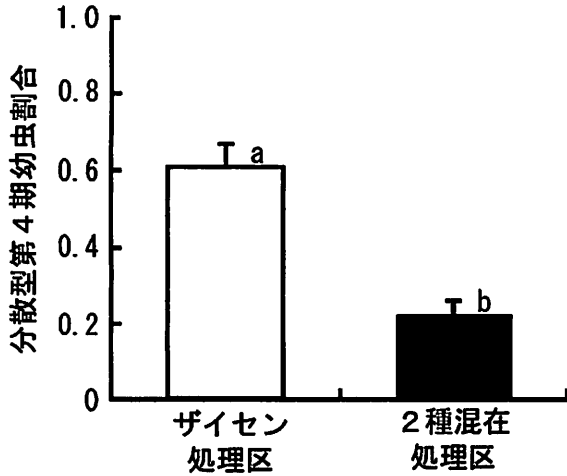


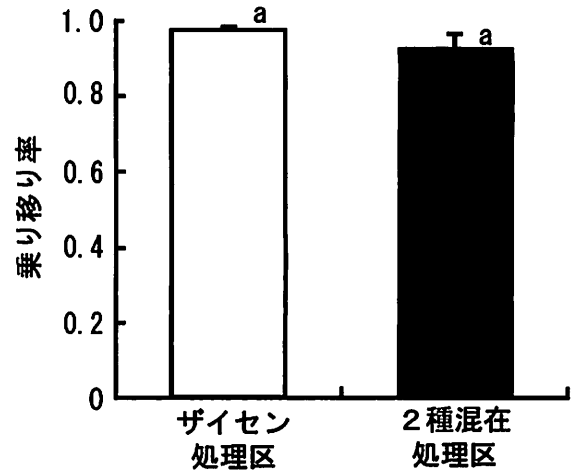
図-4 ザイセン処理区と2種混在処理区におけるJIII総数

図中の棒グラフおよびバーはそれぞれ各処理区における平均値と標準誤差を示す。異なるアルファベットにはt-検定により有意差があることを示す。JIIIは分散型第3期幼虫を示す。



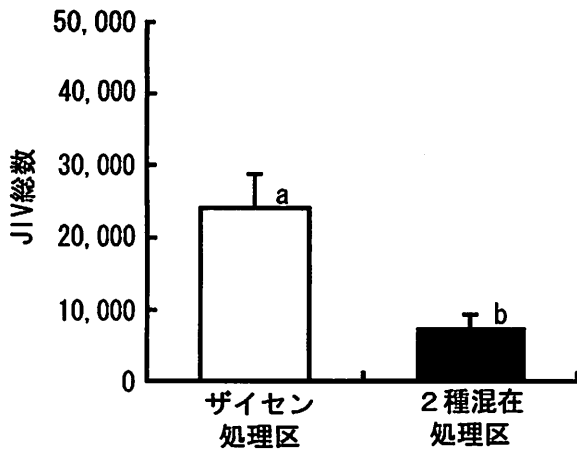
図一五 ザイセン処理区と2種混在処理区における分散型第4期幼虫割合

図中の棒グラフおよびバーはそれぞれ各処理区における平均値と標準誤差を示す。異なるアルファベットにはt検定により有意差があることを示す。



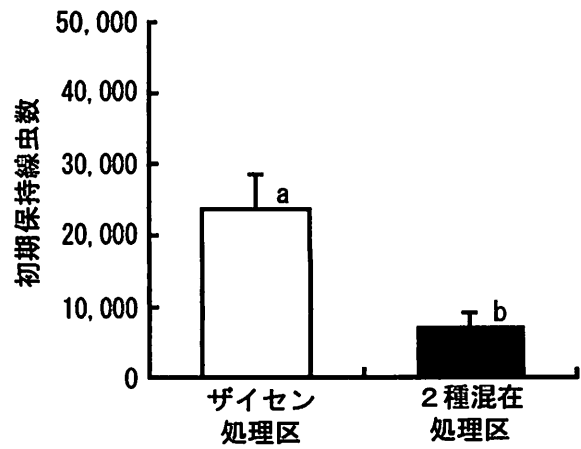
図一七 ザイセン処理区と2種混在処理区における乗り移り率

図中の棒グラフおよびバーはそれぞれ各処理区における平均値と標準誤差を示す。異なるアルファベットにはt検定により有意差があることを示す。



図一六 ザイセン処理区と2種混在処理区におけるJIV総数

図中の棒グラフおよびバーはそれぞれ各処理区における平均値と標準誤差を示す。異なるアルファベットにはt検定により有意差があることを示す。JIVは分散型第4期幼虫を示す。



図一八 ザイセン処理区と2種混在処理区における初期保持線虫数

図中の棒グラフおよびバーはそれぞれ各処理区における平均値と標準誤差を示す。異なるアルファベットにはt検定により有意差があることを示す。

±標準誤差=35.8±1.1)であった(t検定, $P>0.05$)。

2つの処理区間で総線虫数に有意な差は無かった(図2)(t検定, $P>0.05$)。分散型第3期幼虫割合はザイセン処理区が2種混在処理区に比べて有意に高かった(図3)(t検定, $P<0.05$)。JIII総数は2つの処理区間で有意に異ならなかった(図4)(t検定, $P>0.05$)。分散型第4期幼虫割合はザイセン処理区において有意に高く(図5)(t検定, $P<0.05$)、JIV総数もザイセン処

理区において有意に多かった(図6)(t検定, $P<0.05$)。一方、乗り移り率は処理区間で有意な違いが無く(図7)(t検定, $P>0.05$)、初期保持線虫数はザイセン処理区が2種混在処理区に比べて有意に多かった(図8)(t検定, $P<0.05$)。

4 考 察

今回の実験結果から、ニセマツノザイセンチュウの存在によりマツノザイセンチュウのマツノマダラカミキリ

への乗り移りが阻害されることが示された。この結論は、2種混在処理区の初期保持線虫数がザイセン処理区に比べて有意に少なかったことを根拠にしている。

2つの処理区における各線虫ステージの個体数と割合を比較し、どの過程を経て初期保持線虫数の違いが生じたのかを検討すると、総線虫数では2処理区間で違いは認められず、分散型第3期幼虫割合はザイセン処理区で有意に高かった。しかし、この違いはJIII総数の処理区間の有意な違いには結びつかなかった。分散型第4期幼虫割合はザイセン処理区において有意に高く、JIV総数もザイセン処理区において有意に多かった。一方、乗り移り率は処理区間で有意な違いが無かったことから、初期保持線虫数の違いは両区においてJIIIからJIVが出現する過程が異なることに起因すると考えられる。マツノザイセンチュウのJIIIからJIVの出現には*Monochamus* 属カミキリが羽化に伴って分泌する物質が重要な役割を果たすと言われている²⁰⁾。ニセマツノザイセンチュウが混在することにより、マツノザイセンチュウのこの物質に対する反応が低下したことで分散型第4期幼虫割合とJIV総数が低下し、最終的に初期保持線虫数が低下したと考えられる。

2種混在処理区の初期保持線虫数の減少はこの処理区におけるマツノザイセンチュウの接種頭数の減少(1,500頭)が原因ではない。Aikawa and Togashi¹¹⁾は本研究と同様の人工蛹室を用い、接種頭数が媒介昆虫の初期保持線虫数に及ぼす影響を検討している。彼らの結果によって、マツノザイセンチュウの接種頭数が1,000から50,000頭の間で変化しても、その違いは初期保持線虫数に影響しないことが示されている。

媒介昆虫の初期保持線虫数はマツ材線虫病の拡大を左右する重要な要因の一つである。初期保持線虫数が多い媒介昆虫ほど、多くの線虫をマツに伝播する確率が高くなり、多くの線虫が伝播されたマツはマツ材線虫病により枯死しやすくなる。Elton⁷⁾やPimm²⁰⁾は生物の侵入に対して、土着の生物が何らかの抵抗を示すことを指摘し、これをbiotic resistanceと定義した。本研究で示されたマツノザイセンチュウの媒介昆虫への乗り移りに及ぼすニセマツノザイセンチュウの阻害効果は、このbiotic resistanceの一つと考えられる。実際、ニセマツノザイセンチュウが分布する広島県北部では、県南部などの温暖地に比べてマツ材線虫病の被害拡大が阻害されていることが知られている。本研究によって明らかになった生物学的なマツ材線虫病拡大阻害機構を応用し、マツ材線虫病の新たな防除方法を開発することが検討されている。

マツノザイセンチュウとニセマツノザイセンチュウの

形態的な識別は、雌成虫や増殖型の幼虫であれば可能であるが、媒介昆虫に乗り移るステージである分散型第4期幼虫の形態で種を識別することは困難である。このため、2種混在処理区において媒介昆虫に乗り移った線虫に関して、2種線虫の比率は不明である。しかし、仮に2種混在処理区において媒介昆虫に乗り移った線虫が全てマツノザイセンチュウであると仮定しても、ザイセン処理区の初期保持線虫数の30%未満であり、このことからニセマツノザイセンチュウによる阻害効果が確認できる。

非生物学的要因のいくつかがマツノマダラカミキリに乗り移る線虫数に影響を及ぼすことが知られている。蛹室が極端に乾燥もしくは湿った場合には媒介昆虫の初期保持線虫数が低下する(例えば、小林ら¹⁴⁾; 森本・岩崎²⁴⁾; Togashi³⁰⁾)。生物学的な要因であるマツノザイセンチュウの増殖に不適な菌類もまた、媒介昆虫の初期保持線虫数を低下させることが示されている¹⁸⁾。本研究により、マツノマダラカミキリの初期保持線虫数を低下させる生物学的要因の一つとしてニセマツノザイセンチュウが加えられた。しかしながら、ニセマツノザイセンチュウが具体的にどのようにしてマツノマダラカミキリの初期保持線虫数を低下させるのかについては残された課題である。

5 おわりに

本研究によって、ニセマツノザイセンチュウは媒介昆虫(マツノマダラカミキリ)へのマツノザイセンチュウの乗り移りを阻害することが示された。また、本研究と同様の方法を用い、カラフトヒゲナガカミキリを供試した実験においても同様のニセマツノザイセンチュウによる乗り移り阻害効果が実証されている¹⁰⁾。

広島県北部のマツ林においてニセマツノザイセンチュウはカラフトヒゲナガカミキリによって媒介されることが我々の調査から明らかになっている。ニセマツノザイセンチュウはマツノザイセンチュウの競争種であり、カラフトヒゲナガカミキリはマツノマダラカミキリの競争種である。このことから、競争種によるマツ材線虫病拡大阻害機構を効率的に発揮させるためにはニセマツノザイセンチュウを保持したカラフトヒゲナガカミキリの林内密度を上昇させる必要がある。われわれの予備的な調査により、2種の競争種が分布する広島県北部のマツ林において、5月中旬から6月下旬にかけて健全木50本あたり1-2本の割合で劣勢木の間伐を行うことにより、カラフトヒゲナガカミキリの産卵およびニセマツノザイセンチュウの伝播が促されることが示された。カラフト

ヒゲナガカミキリが産卵し、幼虫が発育した間伐木はマツノマダラカミキリの産卵時期には産卵資源として不適な状態になっているため、マツノマダラカミキリがこれらの間伐木を産卵に利用する可能性は低い。翌年、これらの間伐木からニセマツノザイセンチュウを保持したカラフトとヒゲナガカミキリ成虫が脱出することで競争種の林内密度が上昇することも明らかになった。この方法を応用した競争種によるマツ材線虫病拡大阻害の効果検証が今後の課題である。

6 謝 辞

本研究の課題設定や研究のスムーズな遂行にご尽力いただいた池田作太郎前森林環境部長に厚く御礼申し上げます。また、時光博史森林環境部長には本報告に関して貴重なご意見を賜った。森林環境部の山本哲也副主任研究員、佐野俊和副主任研究員および弓場憲生副主任研究員には研究を行う上で必須のマツ枯死木の運搬等にご協力いただいた、ここに記して感謝の意を表する。

7 引用文献

- 1) Aikawa, T., and K. Togashi. (1997) An effect of inoculum quantity of *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda:Aphelenchoididae) on the nematode load *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) in laboratory. Japanese Journal of Nematology 27:14-21.
- 2) Aikawa, T., N. Maehara, K. Futai, and K. Togashi. (1997) A simple method for loading adult *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) with *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda : Aphelenchoididae). Applied Entomology and Zoology 32:341-346.
- 3) Arakawa, Y. and K. Togashi (2002) Newly transmission pathway of *Bursaphelenchus xylophilus* from males of the beetle *Monochamus alternatus* to *Pinus densiflora* trees via oviposition wounds. Journal of Nematology 34:396-404.
- 4) Byers, J. E. (2000) Competition between two estuarine snails: Implications for invasions of exotic species. Ecology 81:1225-1239.
- 5) Case, T. J., D. T. Bolger, and K. Petren (1994) Invasions and competitive displacement among house geckos in the Tropical Pacific. Ecology 75:464-477.
- 6) DiGirolamo, L. S., and L. R. Fox (2006) The influence of abiotic and temporal variation on local invasion patterns of the Argentine ant (*Linepithema humile*). Biological Invasions 8:125-135.
- 7) Elton, C. S. (1958) The ecology of invasion by animals and plants. New York: John Wiley & Sons.
- 8) Holway, D. A. (1999) Competitive mechanisms underlying the displacement of native ants by the invasive Argentine ant. Ecology 80:238-251.
- 9) Jikumaru, S., and K. Togashi (2001) Transmission of *Bursaphelenchus mucronatus* (Nematoda: Aphelenchoididae) through feeding wounds by *Monochamus saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae). Nematology 3:325-333.
- 10) 軸丸祥大・富樫一巳 (2002) 媒介昆虫への乗り移りに関するマツノザイセンチュウとニセマツノザイセンチュウの競争(II). 第113回日本林学会大会学術講演集: 84.
- 11) Juliano, S. A. (1998) Species introduction and replacement among mosquitoes: Interspecific resource competition or apparent competition? Ecology 79:255-268.
- 12) Kiesecker, J. M., A. R. Blaustein, and C. L. Miller (2001) Potential mechanisms underlying the displacement of native red-legged frogs by introduced bullfrogs. Ecology 82:1964-1970.
- 13) Kishi, Y. (1995) The pine wood nematode and the Japanese pine sawyer. Tokyo, Japan: Thomas Company.
- 14) 小林一三・奥田素男・細田隆治 (1976) マツ枯損木の乾燥速度、太さとマツノマダラカミキリの脱出、線虫保持数. 第87回日本林学会大会発表論文集:239-240.
- 15) Liebhold, A. M., W. L. MacDonald, D. Bergdahl, and V. C. Mastro (1995) Invasion by exotic forest pest:A threat to forest ecosystems. Forest Science Monograph 30:1-49.
- 16) Linit, M. J. (1988) Nematode-vector relationships in the pine wilt disease system. Journal of Nematology 20:227-235.
- 17) 前原紀敏 (2002) マツノザイセンチュウのマツノマダラカミキリへの乗り移り. 森林防疫 51: 169-176.
- 18) Maehara, N., and K. Futai (1996) Factors affecting both the numbers of the pinewood nematode,

- Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae), carried by the Japanese pines awyer, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), and the nematode's life history. Applied Entomology and Zoology 31:443-452.
- 19) Mamiya, Y. (1984) The pine wood nematode. Pp. 589-626 in W. R. Nickle, ed. Plant and insect nematodes. New York: Marcel Dekker.
- 20) Mamiya, Y. (1988) History of pine wilt disease in Japan. Journal of Nematology 20:219-226.
- 21) Mamiya, Y., and N. Enda. (1979) *Bursaphelenchus mucronatus* n. sp. (Nematoda: Aphelenchoididae) from pine wood and its biology and pathogenicity to pine trees. Nematologica 25:353-361.
- 22) Mamiya, Y., and T. Kiyohara (1972) Description of *Bursaphelenchus lignicolus* n. sp. (Nematoda: Aphelenchoididae) from pine wood and histopathology of nematode-infested trees. Nematologica 18:120-124.
- 23) Menke, S. B., and D. A. Holway (2006) Abiotic factors control invasion by Argentine ants at the community scale. Journal of Animal Ecology 75:368-376.
- 24) 森本桂・岩崎厚 (1973) マツノマダラカミキリに関する研究 (IV). 蛹室をめぐるカミキリと材線虫の生態. 第26回日本林学会九州支部会大会発表論文集: 199-200.
- 25) 長島茂雄・林洋二・藤原均 (1975) 山口県におけるニセマツノザイセンチュウの分布と被害実態. 第26回日本林学会関西支部会大会発表論文集:271-274.
- 26) Necibi, S., and M. J. Linit (1998) Effect of *Monochamus carolinensis* on *Bursaphelenchus xylophilus* stage formation. Journal of Nematology 30:246-254.
- 27) Parker, J. D., and M.K. Hay (2005) Biotic resistance to plant invasions?: native herbivores prefer non-native plants. Ecology Letter 8:959-967.
- 28) Pimm, S. L. (1989) Theories of predicting success and impact of introduced species. Pp. 351-367 in J. A. Drake, ed. Biological invasion: a global perspective. New York: John Wiley & Sons.
- 29) Rutherford, T. A., and J. M. Webster (1987) Distribution of pine wilt disease with respect to temperature in North America, Japan, and Europe. Canadian Journal of Forest Research 17:1050-1059.
- 30) Togashi, K. (1985) Transmission curves of *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae) from its vector, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), to pinetrees with reference to population performance. Applied Entomology and Zoology 20:246-251.
- 31) Togashi, K. (1989) Factors affecting the number of *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae) carried by newly emerged adults of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). Applied Entomology and Zoology 24:379-386.

Effect of *Bursaphelenchus mucronatus* on initial nematode load of *Monochamus alternatus*: Inhibitory mechanism of pine wilt disease expansion by competitors of the pathogen, *B. xylophilus*, and its primary vector

Shota Jikumaru

Summary

Effects of *Bursaphelenchus mucronatus* on the number of *B. xylophilus* carried by an adult *Monochamus alternatus* were investigated using artificial pupal chamber. When pupal chambers were infested with both *Bursaphelenchus* nematodes, the initial nematode load of *M. alternatus* was significantly lower than that of the beetle that emerged from pupal chambers infested with *B. xylophilus* alone. However, within the two treatments there was no difference in the abundance of the third-stage dispersal juveniles (JIII), which would molt to the fourth-stage dispersal juveniles (JIV) to board beetles. Low probability of JIII to JIV and small number of JIV in pupal chamber infested with both *Bursaphelenchus* nematodes would result in low initial nematode load. An eradication strategy for pine wilt disease using the inhibitory effect of *B. mucronatus* on initial nematode load of the insect vector was discussed.

Key words: *Bursaphelenchus mucronatus*, *Bursaphelenchus xylophilus*, interspecific competition, *Monochamus alternatus*, nematode load, phoresy, pine wilt disease