

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：82105

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26660135

研究課題名(和文) 宿主感受性の時間的変動がマツ材線虫病の流行パターンに及ぼす影響

研究課題名(英文) Effects of temporal change in host susceptibility on the epidemic pattern of pine wilt disease

研究代表者

中村 克典 (Nakamura, Katsunori)

国立研究開発法人森林総合研究所・東北支所・グループ長

研究者番号：40343785

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：伝染病の感染動態を的確に把握するには、宿主の感受性や感染個体の感染能力の時間的な変動を考慮する必要がある。本研究では、年単位の感染拡大様式をもつ樹木の伝染病であるマツ材線虫病を題材に、(1)宿主であるマツの本病への感受性、(2)病原体マツノザイセンチュウの毒性、(3)媒介者マツノマダラカミキリの密度の野外条件下での定量的把握に基づき、各要因の感染拡大過程における寄与程度を評価しようとした。3年間の研究を通じて、宿主感受性、病原体の毒性、媒介者密度を経時的、定量的に把握する手法を確立することができたが、感染個体数動態の変動に及ぼす各要因の効果を明らかにするには至らず、今後の課題として残った。

研究成果の概要(英文)：In an infectious system of a disease, host susceptibility and/or power of infection by an infective agent can fluctuate with time. It is important for an accurate understanding of disease dynamics to take such fluctuations into account. We developed a methodology for quantitative measurement of host susceptibility, virulence of the pathogen and density of the vector insect in pine wilt disease as an infectious tree disease with one-year infection cycle under field conditions. We then intended to estimate the effect of such factors on the pattern of infection spread in pine tree population, but could not outwork it during the 3-year study period. Continual research with the methodology developed in this study would actualize quantitative estimation of the factors on the epidemic pattern of pine wilt disease.

研究分野：森林保護学 マツ材線虫病

キーワード：マツ材線虫病 流行過程 定量的把握 宿主感受性 病原体の毒性 媒介者密度

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 伝染病の制御を考える上で、感染個体数の動態予測のためのモデルは有効である。宿主(病気にかかる側の生物)集団の感受性個体(病気に抵抗性でない未感染個体)と感染個体の密度をそれぞれ  $S$ 、 $I$ 、病原体の伝播率(うつりやすさ)を  $\beta$  とすると、感染個体数の動態は基本的に以下の式(Kermack-McKendrick モデル)で表すことができる。

$$\frac{dI}{dt} = \beta S(t)I(t)$$

この式では、 $S$  と  $I$  を構成する個体の形質は変化しないことを暗黙に仮定している。もし、宿主の感受性(病気へのかかりやすさ)や感染個体の感染能力(病気をうつす能力、感染個体をもつ病原体の感染能力を反映)が時間とともに変化すれば、感染個体数の動態は複雑になるだろう。このような時間とともに変動する要因の効果は病気の流行の予測と制御に重要な情報であるが、これまで伝染病の動態予測研究においてほとんど考慮されてこなかった。

(2) 伝染病における宿主の感受性や感染個体の感染能力の変動に伴う感染個体数の動態は、時間的に連続な感染拡大が起こるような病気より、年単位のような離散的な感染拡大が起こる病気により明瞭に観測されるだろう。マツ材線虫病はマツ類樹木の伝染病であり、マツノザイセンチュウを病原体とし、マツノマダラカミキリによって媒介される(間接伝播)。マツノマダラカミキリによるマツノザイセンチュウの媒介はカミキリの成虫活動期である夏の数ヶ月に限定されるので、感染拡大は年単位で離散的なものとなる。従って、マツ材線虫病は宿主感受性や感染個体の感染能力の変動が流行パターンに及ぼす影響を観測するための良い材料になると考えられる。

(3) マツ材線虫病については、西南日本に比べ東北地方では流行が穏やかであったり、自然に沈静化する場合のあることが、研究代表者の調査により明らかにされつつあった。本病の発症は低温下で抑制されることから、自然沈静化の過程においても低温による宿主(マツ)の感受性低下が大きな役割を果たしていると考えられてきた。しかし、本病に関し宿主感受性を経年的、定量的に評価した研究例はなかった。また、流行パターンにおける宿主感受性の効果を評価するには、伝染病モデルにおけるもうひとつのパラメーターである感染個体の感染能力の効果との対比が必須であるが、これについても流行パターンとの関係で経時的に観測された例はなかった。

### 2. 研究の目的

(1) 年単位の離散的な感染拡大様式をもつ伝染病であるマツ材線虫病において、宿主感受性と感染個体の感染能力の時間的変動が流行パターンに及ぼす効果を明らかにするため、

宿主(マツ)の感受性、ならびに感染個体の感染能力に関わる病原体(マツノザイセンチュウ)の毒性および媒介者(マツノマダラカミキリ)の密度を野外条件下で経年的に計測する。

野外のアカマツ林でのモニタリング調査によりマツ材線虫病感染個体数を経年的に追跡する。宿主感受性、病原体の毒性、媒介者密度をパラメータとし、感染個体数の変動を説明するモデルを構築し、各パラメータの流行パターンへの寄与程度を評価する。

(2) 上記に基づき、冷涼な気候下において宿主感受性の変動がマツ材線虫病の自然沈静化をもたらす条件を明らかにする。

### 3. 研究の方法

(1) 現地調査によるアカマツ感染個体数動態およびマツノマダラカミキリ発生数の調査

岩手県北上市稲瀬のマツ材線虫病被害が進行中のアカマツ林に固定調査区を設定し、毎年7月と11月の2回、針葉変色程度と樹脂滲出能(樹幹に6mmのポンチであけた孔からの樹脂滲出の有無)を調査した。樹脂滲出が停止し針葉の80%以上が変色した個体を罹病枯死木とみなした。また、全ての枯死木からドリルにより材片を採取し、マツノザイセンチュウの検出を試みた。なお、当初調査地に使用しようとしていた場所で最近数年の激しいマツ材線虫病被害によりアカマツ個体数が極端に減少したため、上記調査区は2014年に新たに設定した。このため、感染個体数調査は2014年秋の開始となった。

調査区マツ林における毎年のマツノマダラカミキリ生息密度の指標として成虫の脱出孔数を調査した。2014年および2015年に調査区内に発生したアカマツ枯死木を、翌年夏のマツノマダラカミキリ成虫発生時期以降に伐倒し、幹と枝を精査してカミキリ成虫の脱出孔を数えた。なお、2016年枯死木からの成虫発生は2017年夏となるため、今回の調査期間内に結果を示すには至らない。

(2) 接種実験による宿主感受性の把握

宿主のマツ材線虫病感受性の年次変動を評価するため、苗木の産地や接種条件を揃えたマツノザイセンチュウ接種実験を経年的に繰り返した。

2015年と2016年の5月に、岩手県奥州市江刺区の岩手県林業技術センター林木育種場苗畑にアカマツ2年生苗100本を植栽して接種実験に供した。この地は上記アカマツ枯損動態調査区から2kmと近く、気象条件等に差がないと見なせる範囲にある。苗木はマツ材線虫病が未侵入の青森県上北森林組合産のものをを用いた。7月末に、活着の認められた苗木の半数にマツノザイセンチュウKa-4系統5,000頭を、半数を対象として水を接種し(図1)16週後までの変色、枯死木の発生を調査した。



図1. アカマツ苗木へのマツノザイセンチュウの接種

### (3) 接種実験によるマツノザイセンチュウの毒性の変動の把握

アカマツ枯損動態調査区の罹病・枯死木から分離したマツノザイセンチュウ5系統と、枯損動態調査区周辺で採取したアカマツ枯死木から脱出したマツノマダラカミキリから分離したマツノザイセンチュウ5系統を培養保存し、実験に供した。

接種実験は上記(2)の接種実験と同じ場所、同由来のアカマツ苗木を用い、2016年に一期的に実施した。マツノザイセンチュウ1系統について20本を供試し、対照区の20本には水を接種した。以後、16週後までの変色、枯死木の発生を調査した。

### (4) 病気の流行における宿主感受性、病原体の毒性、媒介者密度の寄与程度の推定

上記(1)~(3)で得た、マツの感受性、マツノザイセンチュウの毒性、マツノマダラカミキリの密度の年次変動データをモデルに適用し、これらの要因が野外における材線虫病の流行に寄与する程度を推定しようとした。

## 4. 研究成果

枯損動態調査区の283本(30本の枯死木を含む)の調査木のうち2014年、2015年、2016年の感染によると考えられるマツ材線虫病罹病木(推定を含む)はそれぞれ8本、6本、1本(暫定)であった(図2)。また、脱出孔調査により、調査区内に発生した枯死木か

ら2015年、2016年に脱出したマツノマダラカミキリ成虫は48頭、8頭と推定された。一方、2015年と2016年の夏にマツノザイセンチュウを接種したアカマツ苗木での枯損発生は41本中4本(対照区44本中2本)、49本中1本(対照区50本中1本)で年次間で差はなかった(Fisherの正確確率、 $P = 0.1733$ )。

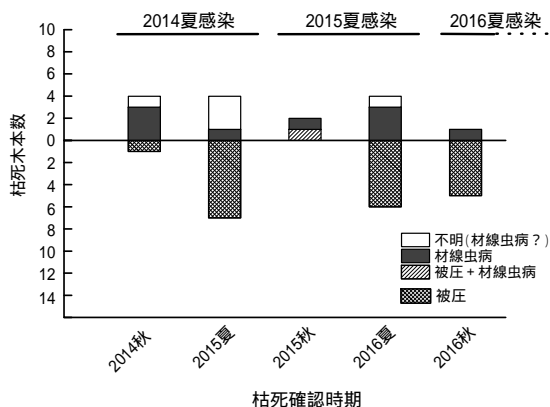


図2. アカマツ枯損動態調査区における死亡要因別の枯死木本数の推移

2015年と2016年の枯損動態調査区における少ない感染木数は、同調査区で確認されたマツノマダラカミキリ成虫発生数の少なさや接種実験で示された宿主感受性の低さを反映している可能性がある。カミキリ成虫発生数や宿主感受性は、カミキリ成虫の活動時期でありマツ材線虫病の病徴進展期にあたる夏期の気温や降水量などの気象要因の影響を受けて変動すると考えられる。そこで、調査地に近い気象庁奥州市江刺観測所での観測値を参照してみたが、2015年、2016年の夏期の気温、降水量に最近10年の観測値と比較して特段目立った傾向は確認できなかった(表1)。カミキリ成虫の発生数や宿主感受性に及ぼす気象要因の効果を検証するにはさらなる観測値の蓄積が必要と考えられる。特に、マツ材線虫病被害量の増大をもたらすような極端な気象条件の年を含むことができれば、より明確な結論を導くことができるだろう。

気象要素	2015年	2016年	最近十年間 (2007-2016年) の最低-最高値
月平均気温(°C)			
7月	24.8	22.8	20.9-25.1
8月	24.1	25.2	22.9-26.9
9月	19.5	21.5	18.6-23.6
MB指数*	30.6	30.8	25.1-33.7
降水量(mm)			
7月	65.0	94.0	31.5-411.5
8月	101.5	193.0	64.0-272.0
9月	222.0	119.5	49.0-246.0
7月-9月合計	388.5	406.5	319.0-713.5

\* マツ材線虫病の被害程度予測に常用される指数。月平均気温が15を越える月について、月平均気温から15を減じた値を積算して求める。

表1. 調査地周辺における2015年、2016年の気象条件の最近十年の観測値との比較

枯損動態調査区のアカマツ罹病・枯死木、および調査区周辺のアカマツ枯死木から脱出したマツノマダラカミキリから分離・培養したマツノザイセンチュウのアイソレート各5系統を接種したアカマツ苗木の枯損率はそれぞれ12~33%、6~40%（対照区4%）で、分離源により病原力に変異が見られた（図3）。ただし、研究期間中に調べることのできた範囲内では病原力の年次間での差や、枯死木-カミキリ間での対応（強い病原力の線虫が蔓延した翌年に枯死木から脱出するカミキリは強い線虫をもつ、など）を確認するには至らなかった。

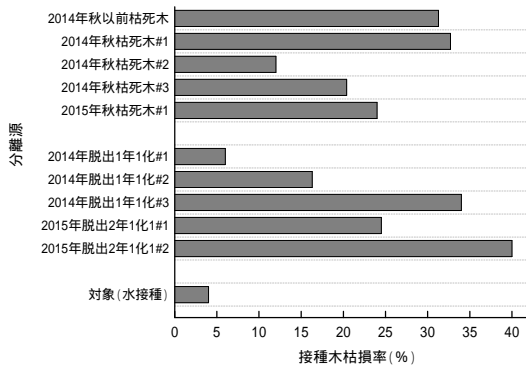


図3．枯損動態調査区に発生した枯死木および枯死木から脱出したマツノマダラカミキリから分離された線虫の病原力

これまで、マツ材線虫病の流行パターンに及ぼす環境要因の効果について、宿主の感受性や感染個体の感染力といった生物学的なプロセスに基づく解析的な研究は行われてこなかった。本研究では、これを実現するための方法論として、宿主感受性、病原体の毒性、媒介昆虫の密度の変動を計測する手法を開発、確立した。3年の研究期間内に、宿主感受性、病原体の毒性、媒介者密度の年次変動について十分な数のデータを集積することができなかつたため、目的に掲げていたモデルへの適用による各パラメータの寄与程度の定量化、ならびに宿主感受性に及ぼす気象要因の効果の解析は果たすことができなかった。しかし、本研究で使用した調査地において、標準化された手法での宿主感受性、病原体の毒性、媒介者密度の計測を継続することにより、データの集積を達成し、各要因の寄与程度の定量化に至ることができるだろう。このことについては、研究代表者による「科研費基盤研究(C)「変動する気象要因はいかにしてマツ材線虫病の流行過程に影響するのか」(平成29~31年度)において取り組むことになる。

## 5．主な発表論文等

〔学会発表〕(計2件)

Katsunori Nakamura-Matori, Characteristics of pine wilt epidemic in north-eastern Japan: from the stand-based descriptions of the damage levels, 2016 IUFRO working party 7.02.10 pine wilt disease international symposium, 2016年9月2日、Seoul(Korea)

山野邊太郎、バーコードを用いた立体配置サンプルおよび移動するサンプルの時系列データ蓄積、第3回森林遺伝育種学会大会、2014年11月7日、東京大学(東京都、文京区)

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

中村 克典 (NAKAMURA, Katsunori)  
国立研究開発法人森林総合研究所・東北支所・グループ長  
研究者番号：40343785

### (2)研究分担者

山野邊 太郎 (YAMANOBE, Taro)  
国立研究開発法人森林総合研究所・林木育種センター・室長  
研究者番号：60370855

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

### (3)連携研究者

前原 紀敏 (MAEHARA, Noritoshi)  
国立研究開発法人森林総合研究所・東北支所・主任研究員  
研究者番号：20343808

相川 拓也 (AIKAWA, Takuya)  
国立研究開発法人森林総合研究所・東北支所・主任研究員  
研究者番号：90343805