

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07855

研究課題名(和文)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

研究課題名(英文)How do the fluctuating meteorological factors affect on the epidemiology 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研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：40343785

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：重要な森林病害であるマツ材線虫病の流行過程を定量的に把握、モデル化することを目的に、野外マツ林での罹病枯死木発生動態調査と並行して 宿主感受性、媒介者密度、線虫の毒性の3つのパラメータを経年的に観測した。研究の結果、調査区マツ林における罹病枯死木の発生動態と観測した3パラメータの変動との関係は明確でなく、当初想定した流行過程のモデル化を達することはできなかった。本研究で調査地をおいた岩手県のような寒冷地のマツ林において、罹病枯死木の発生は過去の流行で生じた潜在感染木の日和見発症を反映している可能性があり、媒介者密度上昇をもたらす要因がなければ材線虫病の自然終息が起こりうることを指摘した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マツ材線虫病によるマツ枯損被害量の増減はしばしば気象要因との単純な相関により説明されてきた。本研究では、気象等の環境要因がどのような生物学的な過程を通じて材線虫病の流行に影響するのかを解明しようとした。当初想定した生物学的なパラメータによるモデルを提示することはできなかったが、研究をすすめる中で、寒冷地において経験的に知られていた材線虫病の自然終息という現象に科学的な根拠を示しうる仮説を導くに至った。自然終息過程の解明は、自然の仕組みを活かした環境低負荷な材線虫病対策の構築に貢献するものとなるであろう。

研究成果の概要(英文)：Temporal pattern of the occurrence of tree death caused by pine wilt disease in a *Pinus densiflora* stand was investigated together with 1) yearly measurements of host susceptibility, 2) virulence of the pathogen, and 3) density of the vector insect for the purpose of a quantitative description of the epidemic process. As a result, the occurrence pattern of the dead trees had no linear relationship with the three parameters that were supposed to be used in modeling of the epidemic process. Alternatively, the occurrence of the dead trees might reflect the opportunistic exteriorization of latent infection of the pathogen as a residual effect of a past outbreak of the disease, especially when the stand is situated in the cool-climate area as in the case of this study. Under such a condition, the epidemic can be subsided naturally unless we have some event that promotes an increase of the vector density.

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 宿主感受性 病原体の毒性 媒介者密度 自然終息

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 伝染病の流行過程において、宿主(病気にかかる側の生物)集団の感受性個体(病気に抵抗性をもたない未感染個体)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 β としたとき、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。

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

ここで、 β の値はその病原体に固有の特性を反映するものと考えられるが、感受性個体 S や感染個体 I の伝染病に関連する形質、すなわち、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; 感染個体もつ病原体の感染能力を反映)に変動があれば、それらは β の値の変化として表現されるだろう。実際、宿主の感受性や病原体の感染能力が環境要因の影響を受けて変動することは十分にありうる。 β の変動に寄与するこれらの生物学的な過程を解明しモデル化できれば、気象要因などの計測が容易な指標から伝染病の流行を予測し、必要な対策を講じることが可能になる。

(2) マツ類樹木の世界的な病害であるマツ材線虫病は、病原体マツノザイセンチュウがマツノマダラカミキリ(及び同属のカミキリムシ)に媒介・伝播されることによって起きる昆虫媒介性の伝染病である。本病による被害量、すなわち宿主であるマツの罹病枯死個体数には大きな変動があることが経験的に知られており、それは年ごとの気象要因の影響によるものと想定されてきた。しかし、その具体的な作用機作(宿主や感染個体のどのような形質を介して β が変動するのか)にまで踏み込んだ研究は行われてこなかった。

(3) 研究代表者らはマツ材線虫病の流行過程の解明を目指し、先行する挑戦的萌芽研究「宿主感受性の変動がマツ材線虫病の流行パターンに及ぼす影響」(平成 26~28 年度)において、 β の変動に関与する宿主ないし感染個体の生物学的パラメータとして 宿主(マツ)の材線虫病への感受性、病原体(マツノザイセンチュウ)の毒性、媒介者(マツノマダラカミキリ成虫)の密度に注目し、これらを野外条件下で直接的に計測する手法を確立した。これらのパラメータの変動を経年的に追跡し、気象要因との対応を解析することで、気象要因がマツ材線虫病の流行過程に影響する生物学的なプロセスを解明し、さらには気象要因を指標とした流行過程の予測も可能になるものと期待された。

2. 研究の目的

(1) 先行研究では、野外条件下で宿主(マツ)の感受性、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成虫)の密度を測定する手法を確立した。本研究ではその手法を適用し、岩手県内に設定した調査地においてアカマツ林でのマツ材線虫病罹病枯死木数のモニタリングに並行して、宿主感受性、病原体の毒性および媒介者密度の 3 パラメータを経年的に計測し、気象等の要因が各パラメータを介して罹病枯死木数の変動に及ぼす効果を評価する。また、気象要因に基づき流行過程を予測するモデルを構築する。

3. 研究の方法

(1) 現地調査によるアカマツ罹病枯死木発生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設定した固定調査区(図 1)で、毎年夏(7 月)と秋(11 月)の 2 回、針葉変色程度と樹脂滲出能(樹幹に 6 mm のポンチであけた孔からの樹脂滲出の有無)について毎木調査を行った。秋調査で確認される枯死木は当年の夏~秋にかけて発生したもの(当年枯れ)であり、夏調査では前年秋調査から次の感染期までに



図 1 アカマツ罹病枯死木発生動態調査のために設定した固定調査区(黄色枠内) 枯死したアカマツの茶色や褐色の樹冠が散見される。

発生した枯死木（年越し枯れ）が検知される。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。

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。各年の夏または前年秋の調査で確認されたアカマツ枯死木（前年夏～秋に衰弱しマツノマダラカミキリの産卵対象となった可能性のある木）を当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、幹と枝を精査して成虫脱出孔を数えた。

なお、本調査地は前継課題で設置したものであり、罹病枯死木数、マツノマダラカミキリ発生数については 2015 年秋以降のデータの蓄積がある。

(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、産地や接種条件を一定に保ったアカマツ苗木へのマツノザイセンチュウ接種実験を経年的に繰り返し実施した。毎年 5 月下旬に、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 100～120 本を植栽して接種実験に供した。この場所は(1)の調査区アカマツ林から 2 km 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野辺地町産のものをを用いた。7 月末に、活着の認められた苗木にマツノザイセンチュウ Ka-4 系統 5,000 頭、10,000 頭、または対照として水を接種し(図 2)、16 週間までの変色、枯死木の発生を調査した。



図 2 アカマツ苗木へ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

調査区アカマツ林の罹病枯死木から分離したマツノザイセンチュウ 11 系統と、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 2 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、2019 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 40 本を試し、対照区の 40 本には水を接種した。以後、16 週間までの変色、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

上記(1)～(4)で得た、宿主感受性、マツノザイセンチュウの毒性、マツノマダラカミキリ成虫密度の年次変動や気象条件との対応を検討するとともに、罹病枯死木数の変動への寄与程度の推定を試みた。

4. 研究成果

(1) 調査期間を通じ、調査区アカマツ林で発生した枯死木の数は 6～16 本/年と変動した（材線虫病の感染生態に基づき、当年秋調査と翌年夏調査の合計をもって当年の発生枯死木数とする）。ただし、この本数は材線虫病とは無関係な被圧枯死木を含んでおり、材線虫病に罹病し枯死した木（推定を含む）の数は 4～8 本/年で、2015 年～2017 年にかけては大きな変動はなく、2018 年になると減衰する傾向を示した(図 3)。また、2015 年～2017 年の罹病枯死木の発生には当年枯れが少なく年越し枯れが多い傾向がみられた。同じ林分で計測されたマツノマダラカミキリ成虫の発生数は 2015 年に 49 頭を記録したものの翌年以降は非常に少なく推移した(図 3)。すなわち、調査区アカマツ林では材線虫病被害木が発生し続けているが媒介者は低密度で維持されていた。

以上の結果から、調査区アカマツ林では罹病枯死木は発生していたもののマツノマダラカミキリの繁殖に不適な年越し枯れが中心であったため、林内のマツノマダラカミキ

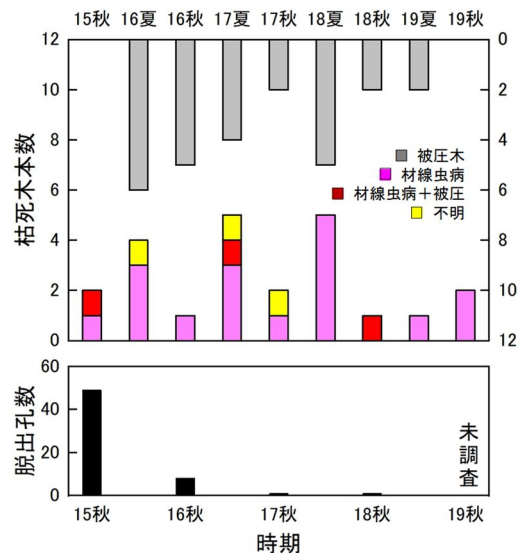


図 3 調査区アカマツ林における枯死木発生数とマツノマダラカミキリ発生数の推移

りの密度が減少し、その結果罹病枯死木の発生も減衰するという経過をたどったものと考えられた。

(2) 接種試験による苗木枯死率は年次間で 18% ~ 44% (5,000 頭接種区)、33% ~ 56% (10,000 頭接種区) と変動した (図 4)。この変動は年ごとの気象条件に応じた宿主感受性の変動を反映している可能性があるが、5,000 頭接種区と 10,000 頭接種区で傾向が一定せず、また 10,000 頭接種区では年次間での枯死木発生数の違いが有意でなかった (Fisher の正確確率検定、5,000 頭接種区 $P=0.04$ 、10,000 頭接種区 $P=0.13$)。また、苗木枯死率の変動と調査区アカマツ林での罹病枯死木数の動態との間に明確な関連性はなかった。

調査期間中に調査区アカマツ林で枯死したマツ、ないし枯死木から発生したマツノマダラカミキリから分離した線虫株の毒性を一次的な苗木接種試験により定量したところ、毒性には大きな変異があり、同一年次に発生した枯死木間でも有意に異なる場合があった (図 5)。しかしながら、年次間で平均的な病原力が異なるような傾向は認められず、線虫の毒性が調査区アカマツ林での罹病枯死木数の動態の説明要因になるとは考えられなかった。

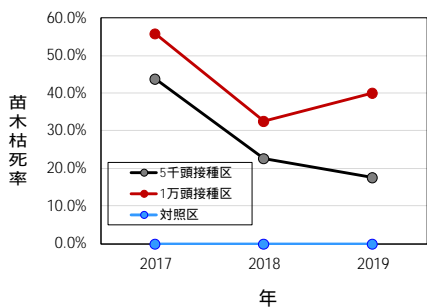


図 4 接種試験によるアカマツ苗木の枯死率の年次変動

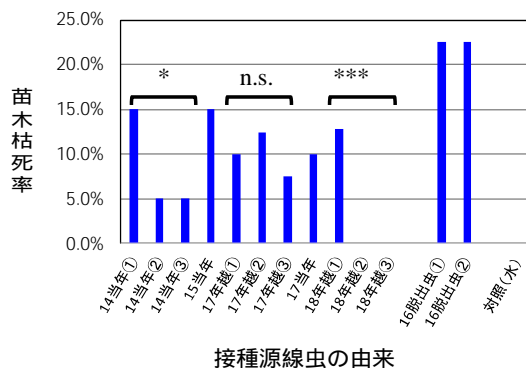


図 5 分離源の異なるマツノザイセンチュウを接種したアカマツ苗木の枯死率

右側 11 系統は枯死木から、左側 2 系統は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を起源とする。同年に発生した枯死木からの分離系統について枯死木発生数を Fisher の正確確率で比較した結果をグラフ上に示した (n.s.: 有意差なし、*: $P<0.05$ 、**: $P<0.01$)。

(3) 以上のことから、野外の林分における罹病枯死木数の変動を当初想定した宿主感受性、媒介者密度、線虫毒性の 3 つのパラメータによって説明することはできず、この想定を元にした罹病枯死木発生動態のモデル化や気象条件による被害量予測を実行するには至らなかった。むしろ、本研究の結果は、少なくとも今回調査地とした岩手県のような比較的寒冷な地域における材線虫病の流行は Kermack-McKendrick モデルで想定されているような連続関数的な動態は示さず、流行年に一次的に発生した潜在感染木の数年にわたる日和見的な発症や、当年枯れ - 年越し枯れの構成割合によって規定される媒介者 (マツノマダラカミキリ成虫) 発生数に依存した過程である可能性を示している。調査区マツ林において、2015 年 (まで) のマツノマダラカミキリ大量発生期以降の当年枯れが生じにくい気象条件の下で本種の増殖が抑制されており、潜在感染木の発症も減衰しつつあるとするなら、近い将来材線虫病の流行は自然終息することになると予測される。

本研究の結果から「寒冷地マツ林における罹病枯死木発生経過は過去の流行で生じた潜在感染木の日和見発症を反映する」という新たな仮説を導くことができた。この仮説を検証することにより、寒冷地における材線虫病流行の自然終息という経験的な事実が科学的に解明されることになるだろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中村克典, 前原紀敏, 相川拓也, 小澤壮太, 富樫一巳
2. 発表標題 寒冷地マツ林においてマツ材線虫病罹病木の発生パターンを規定する要因
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>2020年2月にフランスで開催が予定されていた国際学会 International Symposium IUFRO on Pine Wilt Disease: March 9th to 13th 2020, Orleansにおいて本研究にかかる下記の発表を登録、準備していたが、新型コロナウイルス感染対応のため発表がキャンセルとなった。 "What regulates the temporal pattern of pine wilt disease incidence in a stand under cool climate conditions?" by NAKAMURA-MATORI Katsunori, MAEHARA Noritoshi, AIKAWA Takuya, OZAWA Sota, and TOGASHI Katsumi</p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	前原 紀敏 (Maehara Noritoshi) (20343808)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・東北支所・主任研究員 (82105)	
連携研究者	相川 拓也 (Aikawa Takuya) (90343805)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・東北支所・主任研究員 (82105)	