

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02245

研究課題名(和文) 日本における樹木疫病菌被害の発生リスク評価

研究課題名(英文) Risk analysis of forest phytophthoras in Japan

研究代表者

升屋 勇人 (Masuya, Hayato)

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：70391183

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では全国各地から採集を行い、合計で1000株以上のPhytophthora属菌を採取した。その結果、これまでに分布が知られていたがその生息状況が不明であった種その他、これまでに分布が知られていなかった種が数多く検出された。その中にはPhytophthora ramorum、P. lateralis、P. cambivoraなど世界的に重要な樹木病原菌が含まれていた。一方で、日本国内で重大な被害は確認されなかった。アジア、東南アジアはPhytophthoraの多様性が高いエリアとして知られており、その起源であることから、そこに生息する樹木との共進化過程で抵抗性を進化させてきた可能性がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

樹木疫病菌は世界の森林衰退に重要な役割を果たしている。それらの日本国内における分布はこれまで森林においては調査されていなかった。本研究では世界的に重要な樹木病害が森林において重大な被害を引き起こさずに日本国内に普通に分布していることを明らかにした。この成果は樹木疫病菌の世界分布に新たな知見を追加する。また、植林地においては被害を引き起こしていることも明らかにした。これまで原因不明の樹木の衰退に本病が関与する可能性を示した。また本研究は植物検疫上重要な情報であり、輸出入における植物病害の検疫において、これまでとは異なる考え方をとる必要がある。

研究成果の概要(英文)：We collected more than 1000 strains of Phytophthora spp. from all over Japan. These included the species of which unknown habitat and/or are new to Japan, in particular, globally important tree pathogens such as Phytophthora ramorum, P. lateralis, and P. cambivora. On the other hand, no serious damage was identified in Japan. Asia and Southeast Asia are known to be areas with high diversity of Phytophthora, and because of their origin, resistance may have evolved during the coevolutionary process with trees living there.

研究分野：樹病学、菌類学

キーワード：Phytophthora 樹木疫病 森林衰退 多様性

1. 研究開始当初の背景

植物疫病菌(*Phytophthora*)は、過去には菌類の1グループとして扱われていたが、近年の分子系統解析の結果、全く異なる生物群であることが明らかになっている菌類によく似た生物群である。鞭毛運動で水中を移動する遊走子で特徴づけられ、特に作物や樹木の重要病害として経済的に非常に重要な植物病原菌である。生きた植物にしか寄生できず、最も有名な種類はジャガイモ疫病菌(*Phytophthora infestans*)である。この菌は18世紀のヨーロッパの大飢饉を引き起こし、多くのヨーロッパ市民のアメリカ大陸への移住のきっかけとなった病原菌として知られる。その他、疫病菌の種類によっては、作物の育成のみならず森林生態系に大きな影響を及ぼす種類も報告されている。例えば *P. cinnamomi* は1000種以上の植物を枯死させる多犯性の植物疫病菌であり、オーストラリアでは最重要病害として国立公園内での被害発生が常時監視されている。*P. ramorum* はオーク突然死(SOD: sudden oak death)の原因菌として北米やヨーロッパのナラ類を枯死させる重要病害であり、その被害は一向に収まる様子がない。また近年、イギリスで日本カラマツの集団枯死を引き起こす系統が見つかった。それはカラマツ突然死(SLD: Sudden Larch Death)と称され、世界的な被害拡大が危惧されている。さらに南米では、マツの大量枯死を引き起こす *P. pinifolia* が報告され、景観レベルで被害が深刻化している。その他、様々な樹木疫病菌が世界各国の様々な森林で大きな被害を引き起こしつつあるが、日本においては森林での被害は、モミ、ブナ実生の枯死要因として報告がある他、沖縄地方でもスダジイ等で報告があるのみであり、被害実態は十分には解明されていない。これまでは農業場面での疫病菌の報告が多く、我が国の森林の *Phytophthora* 属菌の多様性および森林へのリスク評価についてはまったく未知であった。しかし、1984年に *P. cinnamomi* が国内の苗畑で発見されて以降、その被害発生が危惧されていた。そして近年、ついに千葉県のパノキの苗畑で集団枯損が発生し、本病害の全国的な被害拡大が危惧されている。そして森林生態系での樹木疫病菌による被害は日本国内ではこれまで報告がないが、申請者らのこれまでの予備的調査では未被害の森林でも複数種の *Phytophthora* 属菌が検出されており、潜在的に多くの *Phytophthora* 属菌が生息していると予想される。しかし、複数の *Phytophthora* 属菌が生息しているにも関わらず、被害が発生していないのはなぜなのかについて全く検討されていない。

2. 研究の目的

本課題では上記の問いに対し4つの仮説を設定し検証することで、日本における樹木疫病菌の被害実態解明、被害発生リスク評価、早期警戒体制の構築に寄与することを目的とした。4つの仮説とは、1. 強病原性種の不在、2. 日本の森林土壌が疫病菌に対し不適、3. 日本の樹木が抵抗性樹種、4. 菌類ウイルスにより弱病原菌化、である。

3. 研究の方法

1) 日本の森林における *Phytophthora* 属菌の種類相と生息状況を植生区分ごとに調査した。*Phytophthora* 属菌のうち特に樹木を宿主とする種類、および森林に生息する種類を対象とし、環境省が生物多様性保全のための国土区分として指定した10区分の中で、トドマツ、アカマツ、スギ、ヒノキ、ブナ、コナラ、スダジイ等、主要構成樹種を主体とする林分合計20か所以上、およびそれらを含む水系10河川を設定し、森林土壌、リター、流水を採取して分離を行った。また、すでに被害が報告されている *Phytophthora cinnamomi* については被害木、土壌、リター、周辺流域の流水を採取することで被害地における分布調査を行った。

2) 接種試験により、これまで病原性が不明であった樹木疫病菌の、スギやヒノキ等重要な森林資源に対する病原性を調査した。上記調査で得られた菌株や、すでに保持している菌株を用いて、針葉樹、広葉樹について、接種試験を行った。接種は温室内の隔離条件下で、ポット苗を対象として、小麦に生育させ土壌に混和し、樹木を移植する方法を適用した。菌種によっては含菌寒天を樹皮に接種する方法を用いた。発病の有無は、枯死率、壊死病斑の程度、根の発達程度に基づき判定した。

3) 採取された菌株について菌類ウイルスを検出する。定法にてDNA抽出を行い、DNase、RNaseによる酵素処理によりdsRNA、ssRNAウイルスを検出し、タイピングを行った。

4. 研究成果

本研究では全国各地から採集を行い、合計で1000株以上の *Phytophthora* 属菌を採取した。その結果、これまでに分布が知られていたがその生息状況が不明であった種その他、これまでに分布が

知られていなかった種が数多く検出された。

特に重要な発見として、世界的に重要な樹木病害である *Phytophthora ramorum* が国内に分布することを初めて明らかにした。実際の被害は確認されておらず、また遺伝子解析では、系統的に複数の系統が存在することから、土着種である可能性があることを示した。今後日本国内での正確な分布状況を調査する予定である。また *P. ramorum* に近縁な *P. lateralis* の分布も明らかになった。本種はヒノキ科樹木に特異的な病原菌であるが、日本で初めて確認した。実際の被害は確認されていないため、生息状況の詳細は不明であり、今後の課題である。

Phytophthora cinnamomi は世界的に広く分布する重要病害であるが、日本国内では山形以南に広く分布し、ウルシやブルーベリーを枯死させていることが明らかとなった。また高知県や沖縄県北部では自然林に生息することも明らかとなった。自然林での分布が今後その場所にどのような影響を及ぼすかについて調査が必要である。

Phytophthora cambivora はヨーロッパでブナやクリを衰退、枯死させる重要病害であるが、日本においてはリンゴの接ぎ木での被害のみが報告されていた。今回の調査で実際には日本全国に広く分布し、特にブナ林やミズナラ林で実生や萌芽枝の枯死を引き起こす病原菌であることが判明した。またクリの植林の重要な阻害因子であることも明らかとなった。

その他、イチヨウやフクギ、シークァーサーで原因不明であった衰退、枯死に *Phytophthora* 属菌が関与している可能性を見出し、一部接種試験でその病原性を確認した。

Phytophthora cinnamomi、*P. cambivora*、*P. castaneae* の3種を各種樹木苗の幹に接種した結果、特にブナ科樹木の感受性が高いことが明らかとなった。その一方でマツ科樹木に対してはほとんど壊死を引き起こさないことも明らかとなった。*P. cambivora* はブナに対して非常に大きな壊死斑を形成したことから、ブナへの影響は少なくはないと予想された。*P. cinnamomi* をブナ科樹木13種に接種した結果、全ての樹種で壊死斑が形成されたが、特にミズナラ、コナラ、クヌギで壊死斑が大きい傾向にあった。よって樹種により抵抗性に違いがあることが明らかとなった。

Phytophthora 属の一部で菌類ウイルスが内在していることが明らかとなったが、宿主菌への影響は全く見られなかった。

以上の調査結果から、最初に提示した4つの仮説について検証する。

1．強病原性種の不在

上記のように世界的に重要な被害を引き起こす種類が複数種確認された。これらが侵入病害かどうかについては充分には検討していないが、少なくとも *P. ramorum*、*P. lateralis*、*P. cambivora*、*P. castaneae* については土着種であると予想される。その根拠は遺伝子解析で非常に多様な系統が分布していたこと、樹木の大量枯死という状況が確認されていないことなどがある。

2．日本の森林土壌が不適

本課題で明らかのように、非常に多くの種類が日本の森林に分布していることが明らかになったことから、むしろ日本の森林は *Phytophthora* にとって適地であると考えられた。

3．日本の樹木が抵抗性樹種

接種試験の結果、必ずしも抵抗性樹種であるとはいえなかったが、海外の状況から考えればやはり日本国内の樹種は抵抗性が比較的高いとも考えられた。ただし、接種に用いた菌種は限られていることから、更なる検証が必要と思われる。また一方で、分散体の形成のしやすさといった *Phytophthora* の生態そのものへの影響も考えられることから、樹木との相互作用という点で更なる検討が必要と考えられた。

4．菌類ウイルスの存在

調査の結果、菌類ウイルスは存在するものの、その頻度は稀であり、*Phytophthora* の分布や病原性に大きく関与する可能性が皆無と思われた。

結論として、1、2、4については否定されることから、現時点では3について最も可能性があらうと思われた。実際に日本産樹種については、海外の樹種に比べて抵抗性が認められている。アジア、東南アジアは *Phytophthora* の多様性が高いエリアとして知られており、その起源であることから、そこに生息する樹木との共進化過程で抵抗性を進化させてきた結果である可能性があらう、今後さらなる検証が必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 升屋 勇人	4. 巻 70
2. 論文標題 日本の樹木におけるPhytophthora cinnamomiの被害の現状と課題	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 森林防疫	6. 最初と最後の頁 11-21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 升屋 勇人, 田端雅進, 市原 優, 景山 幸二	4. 巻 101
2. 論文標題 Phytophthora cinnamomi によるウルシ林の衰退 国産漆の新たな脅威	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本森林学会誌	6. 最初と最後の頁 318-321
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4005/jjfs.101.318	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Jung Thomas, Horta Jung Marilia, Webber Joan F., Kageyama Koji, Hieno Ayaka, Masuya Hayato, Uematsu Seiji, Perez-Sierra Ana, Harris Anna R., Forster Jack, Rees Helen, Scanu Bruno, Patra Sneha, Kudlacek Tomas, Janoucek Josef, Corcobado Tamara, Milenkovic Ivan, Nagy Zoltan, Csorba Ildiko, Bakonyi Jozsef, Brasier Clive M.	4. 巻 7
2. 論文標題 The Destructive Tree Pathogen Phytophthora ramorum Originates from the Laurosilva Forests of East Asia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Fungi	6. 最初と最後の頁 226 ~ 226
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/jof7030226	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 升屋 勇人・市原優・田端雅進・景山幸二
2. 発表標題 ウルシの新たな脅威・Phytophthora cinnamomi
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 升屋 勇人, 市原 優, 景山 幸二
2. 発表標題 日本の森林におけるPhytophthora ×cambivora の分布と被害実態
3. 学会等名 日本菌学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯島大智, 景山 幸二, JUNG Thomas, JUNG-HORTA Marilia, BRASIER Clive, WEBBER Joan, 升屋 勇人, 植松 清次, 日恵野綾香, 須賀 晴久
2. 発表標題 森林土壌および河川から分離されたPythium 属とPhytophythium 属
3. 学会等名 日本菌学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 升屋 勇人・市原優・田端雅進・景山幸二
2. 発表標題 ウルシの新たな脅威・Phytophthora cinnamomi
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 植松清次・森山裕充・大坪佳代子・日恵野綾香・渡辺直明・吉田智弘・升屋勇人・景山幸二
2. 発表標題 カラムシおよびシオジに発生した疫病(新称)
3. 学会等名 日本植物病理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 升屋 勇人、安藤 裕萌、小林 真知子、河内 文彦、岩澤 勝巳
2. 発表標題 イチヨウの枯死に関するPhytophthora属菌について
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	戸田 武 (Toda Takeshi) (00506529)	秋田県立大学・生物資源科学部・助教 (21401)	
研究分担者	市原 優 (Ichihara Yu) (10353583)	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 (82105)	
研究分担者	森山 裕充 (Moriyama Hiromitsu) (20392673)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授 (12605)	
研究分担者	景山 幸二 (Kageyama Koji) (50224366)	岐阜大学・流域圏科学研究センター・教授 (13701)	
研究分担者	古屋 廣光 (Furuya Hiromitsu) (60141074)	秋田県立大学・生物資源科学部・教授 (21401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
英国	Forestry Research UK			
チェコ	Mendel University			