



マツ材線虫病の病原体、マツノザイセンチュウのゲノムの解読に成功 ーゲノムが語るユニークな植物寄生戦略と進化ー

ポイント

- ・「松枯れ」の病原体であるマツノザイセンチュウの全ゲノム（サイズ74.5Mb）を解読し、約18,000個の遺伝子を予測しました。
- ・マツノザイセンチュウの遺伝子セットは本線虫の複雑な生活史と遺伝子水平転移などによるユニークな進化過程を反映していました。
- ・マツノザイセンチュウは他の植物寄生性線虫と異なる独自の寄生戦略を持つことが明らかになりました。得られたゲノム情報は今後新たな松枯れ対策の開発にも役立つと期待されます。

概要

独立行政法人森林総合研究所は、ウエルカムトラスト・サンガー研究所、ジェームズ・ハットン研究所、ベルファスト大学らと共同で世界的な森林病害として知られるマツ材線虫病（「松枯れ」）の病原体、マツノザイセンチュウ¹の全ゲノムの解読に成功しました。

本線虫は、日本を含む東アジアとヨーロッパの一部で多数のマツを枯損させています。今回、ゲノムの解読により約18,000個の遺伝子を検出し、本線虫のゲノムが他の植物寄生性の線虫と多くの重要な点で異なることを明らかにしました。

この成果はマツノザイセンチュウの持つユニークな植物寄生戦略や生物学的特性の分子基盤の理解につながるとともに、得られたゲノム情報は新たな松枯れ対策を開発する上で重要な武器になると期待されます。

予算：森林総合研究所交付金プロジェクト研究

「ESTデータ収集および病原性関連、有用遺伝子の探索（平成15～17年度）」
科学研究費補助金

「生体分子の相互作用に基づいたマツ材線虫病発病機構の解明（平成23～25年度）」

問い合わせ先など

独立行政法人 森林総合研究所 理事長 鈴木 和夫
研究推進責任者：森林総合研究所 研究コーディネータ 牧野 俊一

研究担当者：森林総合研究所 森林微生物研究領域
森林病理研究室 主任研究員 菊地 泰生
森林病理研究室長 佐橋 憲生

広報担当者：森林総合研究所 企画部 研究情報科長 荒木 誠
TEL：029-829-8130 FAX：029-873-0844

本資料は、林政記者クラブ、農林記者会、農政クラブ、筑波研究学園都市記者会に配付しています。

背景

マツ材線虫病、いわゆる「松枯れ」はわが国のマツ林で甚大な被害を及ぼしている極めて重要な樹木病害です。その病原体であるマツノザイセンチュウ（図1）のヨーロッパへの侵入、中国での被害の拡大に伴って、この線虫に対する世界的な関心が近年飛躍的に高まっています。現在、松枯れ対策は主に被害木の処理や薬剤による防除によって行われていますが、労力や費用の問題もあり、新たな発想に基づく防除技術の開発が望まれています。また、マツノザイセンチュウは植物に寄生する線虫ですが、同時に菌を食べたり、昆虫と密接に関連する発育段階を持つなど複雑な生活史（図2）を持っています。こうしたユニークな生物学的特徴がどのように進化してきたのかについても強い興味もたれており、ゲノムの解読が待ち望まれていました。

成果

独立行政法人森林総合研究所及び他6機関による研究チームは、日本で採集したマツノザイセンチュウを同系交配により遺伝的に均一な集団を作成し、それらから高純度のゲノムDNAを抽出して、次世代型DNAシーケンサー（第二世代シーケンサー）²を用いてその配列を決定しました。その結果、高い完成度を持つドラフトシーケンス³を決定することができました。

このDNA配列に基づき、既知の遺伝子との類似性や遺伝子構造の経験則、またこれまでに得られた転写産物情報⁴（ゲノムから転写されるRNA配列情報）を統合して、コンピュータープログラムにより遺伝子についての予測を行いました。その結果、ゲノム全体で約18,000個の遺伝子が存在すると予測され、さらにその内容を検討した結果、以下のようにマツノザイセンチュウが他の線虫と比べて、きわめてユニークな遺伝子セットを持つことを明らかにすることができました。

- ①食物消化やストレス対応に関わる遺伝子が他の線虫に比べて増えている。
- ②マツノザイセンチュウの遺伝子のいくつかは遺伝子水平転移⁵によってバクテリアや糸状菌（カビ）など他の生物から取り込まれた可能性が高く、そこには植物細胞壁を分解する酵素の遺伝子など、植物寄生に重要と思われるものも含まれている。遺伝子水平転移は動物など多細胞生物としてはきわめて珍しい。
- ③他の植物寄生性線虫で見られる、寄生植物との相互作用を調節する物質（エフェクター）⁶に関わる遺伝子がゲノム中にほとんど存在しない。

これらは、①マツノザイセンチュウがその複雑な生活史で遭遇するストレスに対応するシステムを発達させていること、②線虫の寄生性の進化には、他の生物から取り込まれた遺伝子が重要な役割を果たしている可能性があること、③マツノザイセンチュウが植物に寄生する仕組みは、他の植物寄生性線虫とは異なっていることを示しています。

成果の活用

今回得られたゲノム情報は、マツノザイセンチュウの持つユニークな植物寄生戦略や生物的特性の分子基盤の理解につながり、植物病理学をはじめ、進化学、生態学、微生物学など関連する生物学の幅広い分野に大きな影響を与えると思われます。

また、今回明らかにしたゲノム情報に基づいて研究を進めることにより、病気の機構やマツノザイセンチュウの弱点がより深く理解され、松枯れ被害をもたらすマツノザイセンチュウの画期的防除法の開発につながることが期待されます。

用語の解説

※1 マツノザイセンチュウ

学名 *Bursaphelenchus xylophilus*。マツ材線虫病の病原体であり、北米から侵入した外来生物と考えられています。そのため、日本のマツは抵抗性が弱く、激しい被害を受けています。本種は線虫の中では「クレード10」という系統に属します。重要な植物寄生性線虫の多くはクレード12に属しているため、マツノザイセンチュウはこれらの線虫とは異なる進化の過程をたどったと考えられます。今回得られたゲノム配列は、クレード10に属する線虫として世界最初のものであります。

※2 第二世代シーケンサー

シーケンサーはDNAの配列を解読する機械。第二世代（次世代）シーケンサーは、第一世代（サンガー法）とは異なった解読手法を用いており、単位時間当たりのデータ生産量が飛躍的に増大しています。

※3 ドラフトシーケンス

ゲノム配列の「概要版」。あいまいな部分を一部残しているが、遺伝子の予測や生物学的な議論をするのに十分な信頼性を持つ配列情報のこと。本研究では、ゲノムサイズの約60倍の配列情報を得て、それらを継ぎ合わせることで、全長74.5Mbに及ぶシーケンスを決定しました。断片化度を示す値（Scaffold n50=約1Mb）、完成度を示す値（CEGMA completeness 96-98%）ともに高く、かなり高精度なドラフトゲノムと考えられます。

※4 転写産物情報

ゲノムから転写されるRNA情報。遺伝子部位の決定や予測に役立ちます。本研究では約80,000のマツノザイセンチュウの転写産物配列（Expressed Sequence Tag, EST）を遺伝子部位の予測、確認に用いました。

※5 遺伝子水平転移

生物の遺伝子は、通常親から子へと伝えられますが、これに対して親子関係にない生物体のゲノムの間で遺伝物質が移ることを水平転移と言います。動物などの多細胞生物ではごくまれにしか見られません。

※6 エフェクター

植物寄生性線虫は宿主との相互作用を調節するため様々な分泌タンパク質を生産します。細胞壁分解酵素もそのひとつです。これらのタンパク質はエフェクター（effector）と呼ばれます。たとえば、シスト線虫は植物のものに似せたタンパク質を分泌し、植物を変形させます。ゲノム解読の結果、マツノザイセンチュウは他の線虫で知られる多くのエフェクターのうち、植物細胞壁分解酵素だけしか持っていないことがわかりました。

共同研究機関

Wellcome Trust Sanger Institute（サンガー研究所）、James Hutton Institute（ジェームズ・ハットン研究所）、Queen's University Belfast（ベルファスト大学）、中部大学、同志社大学、Swedish University of Agricultural Sciences（スウェーデン農科大学）

本成果の掲載論文

タイトル：Genomic insights into the origin of parasitism in the emerging plant pathogen *Bursaphelenchus xylophilus*（ゲノム学的視点から見た新興植物病原体マツノザイセンチュウの寄生性の起源）

著者：菊地泰生, Cotton, J. A., Dalzell, J. J., 長谷川浩一, 神崎菜摘, Mc Veigh, P., 高梨琢磨, Tsai, I. J., Assefa S. A., Cock, P. J. A., Otto, T. D., Hunt, M., Reid A. J., Sanchez-Flores, A., 土原和子, 横井寿郎, Larsson, M. C., 三輪錠司, Maule, A. G., 佐橋憲生, Jones, J. T., Berriman M.

掲載誌：PLoS Pathogens（米国のオンライン科学雑誌）, 2011

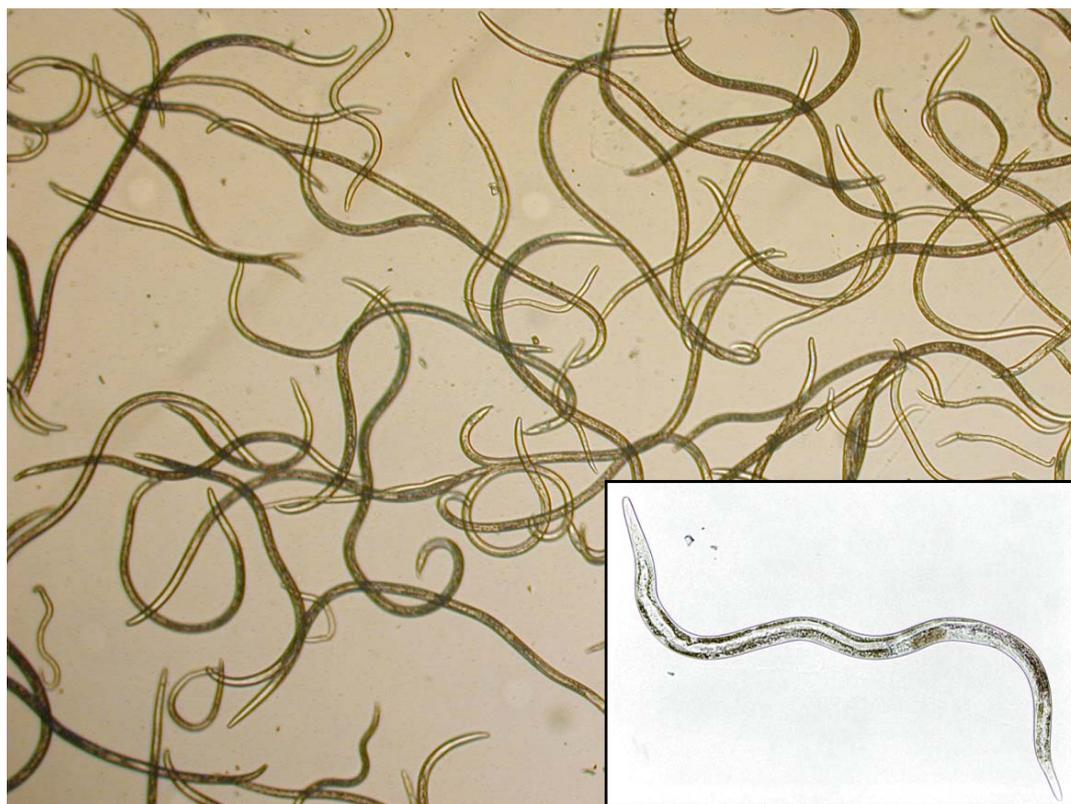


図1 マツノザイセンチュウ
今回ゲノムの解読に成功したマツノザイセンチュウは大きさ 1mm 弱の線虫です。
右下（本線虫の雌成虫）

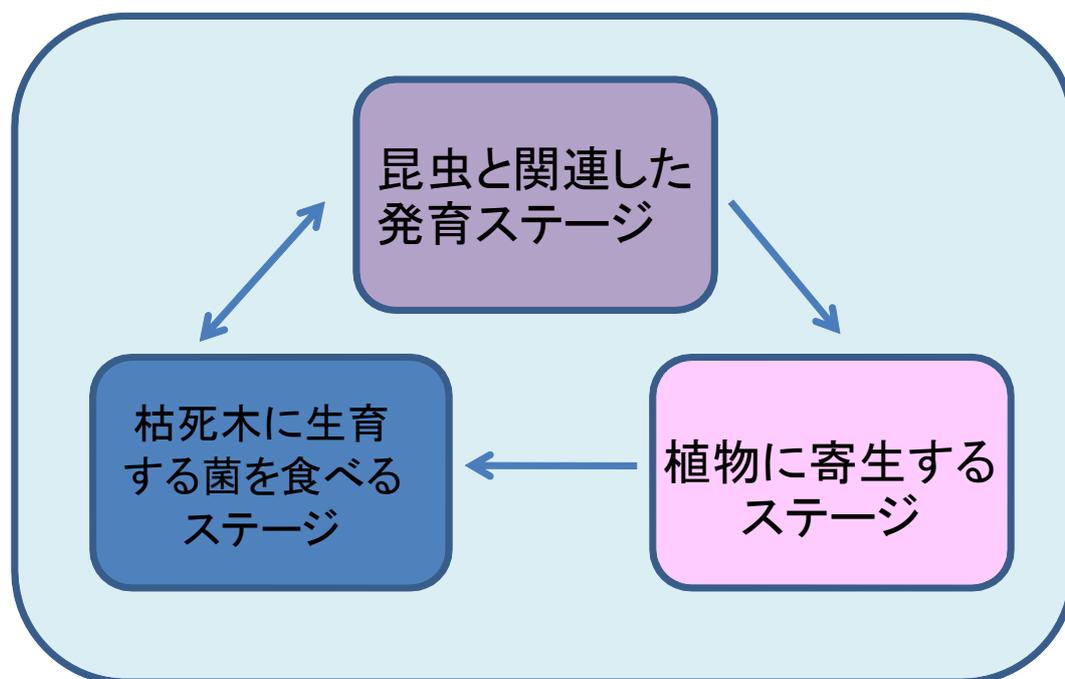


図2 マツノザイセンチュウの生活
マツノザイセンチュウは植物寄生性の線虫ですが、同時に菌を食べるステージ、昆虫と密接に関連するステージを持つなど、複雑な生活環を持っています。