

九州の森と林業

No.153 2025.9

シイタケの発生温度を判別するDNAマーカーの開発

森林微生物管理研究グループ 木下 晃彦

はじめに

私たちが食べているシイタケは、2つの方法によって栽培されています。木材チップと栄養剤を混合してブロック状に成形して屋内栽培される「菌床栽培」と、クヌギなどの原木に穴を開けて菌を接種して野外栽培される「原木栽培」です。九州地域の生および乾シイタケの生産量は全国の約23%を占め、乾シイタケは全国生産量の70%ものシェアを占めています。その乾シイタケのほとんどは原木栽培によるものです（農林水産省大臣官房統計部 2025）。近年、コメなど農作物の収量減少に地球温暖化が影響しているとするニュースを目にする機会が増えていますが、シイタケにおいても、菌床栽培では冷房など光熱費の高騰による生産コストの上昇、原木

栽培では発生不良が懸念されています。

シイタケの実態は「菌糸」と呼ばれる糸状の構造体が集合して形成されたもので、菌糸を十分に成長させた後に、低温や光刺激によって食用となる「きのこ」を発生させます（Ishikawa *et al.* 1967; Nakazawa *et al.* 2008）。シイタケには200を超える品種があり、菌糸の状態ではすべての品種が25℃前後で最も旺盛に成長しますが、きのこ発生に適した温度は品種によって異なり、高温（15~22℃）、中温（10~20℃）、低温（8~15℃）の3タイプに分けられ、その中間型もあります。地球温暖化に伴う高温対策のためには、高温環境下で安定して発生する品種や、さらに高温でも発生する品種の開発が必要です。

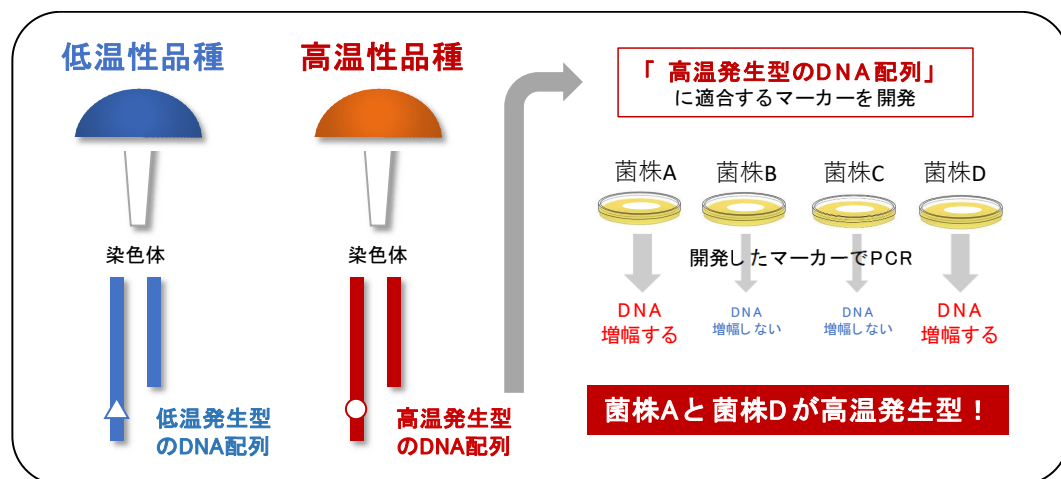


図1 シイタケの高温発生型を判別するDNAマーカー開発までの流れ



品種開発を加速化させるためにDNAマーカーを開発する

きのこの品種開発は、紫外線照射による変異体の作出や、最近話題のゲノム編集など様々な方法があります。そのうち、交雑育種法は、優良な形質をもつ菌株（「きんかぶ」と呼び、動物や植物の「個体」と同義です）から孢子（次世代となる卵）を取り出し、孢子から伸びた菌糸どうしを交配してきのこを発生させ、さらに優良な菌株を見出す方法です。育種開発の現場では菌糸間の交配作業を総当たりで行い、数千という候補の中からわずかな菌株だけが商品化されます。そのため、品種の開発には莫大な労力と時間を必要とします。

2000年代に入って農作物の遺伝情報が次々に明らかにされ、その技術を育種へ応用する試みがなされ始めました。個体によって異なるDNA配列を利用して判別する「DNAマーカー利用選抜（MAS）」という方法もその一つです（図1）。この方法では、PCRと電気泳動という方法で優良な形質をもつ個体を簡便に選抜することができ、従来に比べて費用や労力を格段に抑えることができます。シイタケにMASを適用できれば、高温に強い新品種の開発を加速させることができますが、そのためにはシイタケの発生温度に関与する遺伝子を特定する必要があります。そこでシイタケの発生温度に関わる遺伝子の位置を明らかにし、高温発生する菌株を選抜するDNAマーカーの開発を行いました（Miyazaki *et al.* 2024）。

材料と方法

シイタケの孢子から成長した菌糸は、一つの細胞に核を一つしか持たず、この状態ではきのこは作れません（一核菌糸といいます）。きのこを作る状態は、別の一核菌糸と交配して、一つの細胞に核を2つもつ状態でなければなりません（二核菌糸といいます）。その性質とメンデルの分離の法則を利用し、遺伝子を特定するために以下の実験を行いました（図2）。

高温できのこを発生する菌株（高温性菌株）と低温で発生する菌株（低温性菌株）の一核菌糸を交配し、その二核菌糸からきのこを作りました（F1菌株）。F1のきのこから

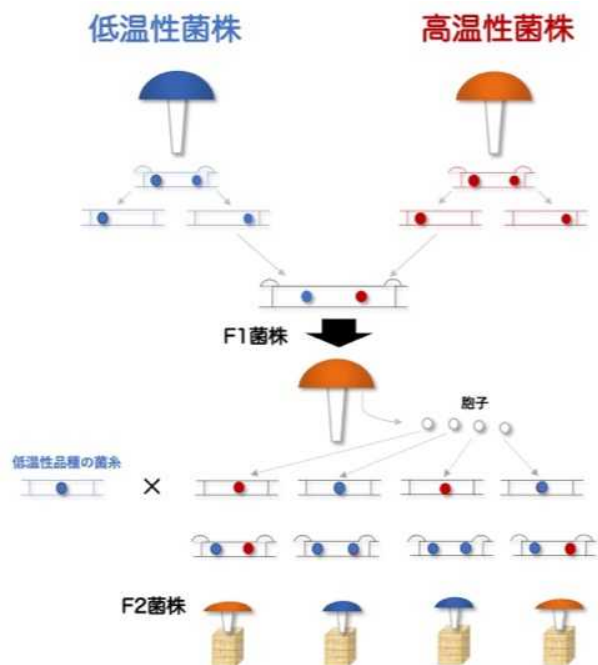


図2 シイタケの高温発生に関わる遺伝領域を特定するまでの流れ

100個程度の孢子を取得し、孢子から成長した一核菌糸と低温性菌株の一核菌糸を交配し、二核菌糸を92菌株作成しました（F2菌株）。そして、これらF2菌株のきのこが発生する温度を評価するために、10℃、14℃、20℃、22℃の発生室で、50 g小型菌床（通常の菌床よりも20分の1以下のサイズ）および1.5kgの通常サイズの菌床で発生温度試験を行いました。一方で、F2の92菌株の遺伝型をAFLPという方法でタイプ分けし、その結果から、遺伝子が染色体上でどのように配置されているかを示す地図（連鎖地図といいます）を作りました。F2菌株の発生温度評価と連鎖地図の結果をまとめ、シイタケの発生温度に関わる遺伝子の特定を試みました。

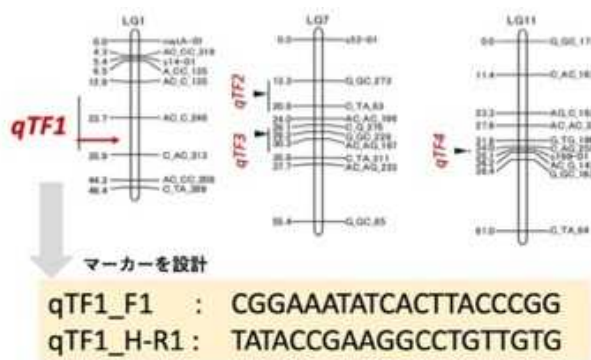


図3 シイタケの染色体上でのきのこの発生温度に関わる4つの遺伝領域（qTF1-4：上段）と、qTF1領域から作成したDNAマーカーを増幅するためのプライマー（下段）



写真1 左：小型菌床による発生温度試験の様子（撮影：大分県農林水産研究指導センター）
右：DNAマーカーによって選抜した菌株による大型菌床を使った発生試験の様子
（撮影：株式会社北研）

きのこの発生温度に関わる遺伝領域を特定

シイタケの染色体上の4箇所、きのこの発生温度に関与する可能性の高い遺伝領域が見つかりました（図3）。その中で、qTF1と名付けた部分のDNA配列を調べ、高温性と低温性菌株のDNA配列間で変異の生じている部分を見出しました。その部分をもとに作成したDNAマーカーを用いて、高温性と低温性の菌株を判別することができました（図3）。さらに、DNAマーカーの効果を確認するため、菌株からDNAを抽出し、PCR、電気泳動して選抜した複数の菌株を用いて菌床栽培による発生試験を行ったところ、すべての菌株で22℃以上の高温でも発生することを確認しました（写真1）。

将来展開に向けて

従来の方で高温性菌株を選抜する場合、交配した全ての菌株に対して菌床栽培による発生試験をして評価、選抜するため、多大な労力と時間が必要でした。しかし、本研究で開発したDNAマーカーを増幅するプライマーを使えば、全ての菌株に対して発生試験をする必要がなく、従来の方で比べておよそ75%の時間を削減することが可能になりました。このDNAマーカーを用いることにより、高温条件下でも栽培可能な新品種の開発が促進されます。新品種の栽培により、原木栽培における高温による発生障害を軽減するとともに、菌床栽培での光熱費を削減することで、シイタケ産業の発展に貢献することが期待されます。

引用文献

- 1) Ishikawa H (1967) Physiological and ecological studies on *Lentinula edodes* (Berk.) Sing. *J. Agr. Lab* 8: 1–57
- 2) Miyazaki K, Sakamoto Y, Sato S, Miyamoto R, Yada R, Ishii H, Yamauchi T, Goto F, Kinoshita A, Kaneko S, Asano-Matsushita S, Miyazaki Y, Okii E, Shiraishi S (2024) Mapping of quantitative trait loci associate with temperature for fruiting body induction in *Lentinula edodes* (shiitake mushroom). *Mushroom Sci. Biotech.* 32: 31–40
- 3) Nakazawa T, Miyazaki Y, Kaneko S, Shishido K (2008) Stimulative effects of light and a temperature downshift on transcriptional expressions of developmentally regulated genes in the initial stages of fruiting body formation of the basidiomycetous mushroom *Lentinula edodes*. *FEMS Microbiol. Lett.* 289: 67–71
- 4) 農林水産省大臣官房統計部 (2025) 令和5年 特用林産基礎資料

謝辞

本研究は、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「シイタケの高温発生品種を効率的に作出するための技術開発」（平成23年度～平成25年度）、生物系特定産業技術研究支援センター・イノベーション創出強化研究推進事業「マーカー利用選抜による気候変動に適応した菌床栽培用シイタケ品種の開発」（平成28年度～令和2年度）の支援を受けて行いました。

令和6(2024)年の九州地域の森林病虫獣害発生状況

チーム長（生物多様性担当）
森林微生物管理研究グループ

森林動物研究グループ長

佐山 勝彦
安藤 裕萌
石原 誠
安田 雅俊

令和6(2024)年の九州地域（九州7県と沖縄県）の森林病虫獣害発生状況を報告します。この報告は、九州地区林業試験研究機関連絡協議会保護専門部会、および著者らに寄せられた情報などを集約したものです。

九州地域は外来生物が侵入する頻度が高く、病虫獣害の被害拡大を阻止するためにも、今後も引き続き関係各位の情報収集・提供へのご協力をお願い致します。本報告に先立ち、情報をお寄せいただいた関係各位にお礼申し上げます。

虫害：2024年に九州地域で確認された主な虫害を表1に示します。2023年に続き表にあげられたのは、アカギヒメヨコバイ、サカキブチヒメヨコバイ、ソテツシロカイガラムシ、ケブカトラカミキリ、タイワンゴマダラカミキリ、タイワンハムシ、カシノナガキクイムシ、マツカレハ、キオビエダシヤク、ホウオウボククチバ、デイゴヒメコバチでした。

ササシロナガカイガラムシが福岡県で初めて確認されました。本種は幼虫や成虫がモウソウチクの葉の裏面に寄生して吸汁します。

ヨシブエナガキクイムシによるクヌギのほだ木（シイタケ原木生産用）への被害が長崎県で確認されました。被害地では本種がほだ木に多数穿孔しており、シイタケの収量に影響があるのかどうか懸念されます。

鹿児島県では、クロフオオシロエダシヤクがシキミで発生しました。本種の幼虫は黄緑色で白い縁どりのある黒い斑点が散在しており、終齢幼虫では体長が40 mmほどになります。蛹で越冬し、九州では3月から9月ごろまで成虫がみられるため、年3～4化していると推測されます。

鹿児島県の奄美大島と沖縄県の沖縄島では、街路樹や群落のソテツでソテツシロカイガラムシによる枯死被害が続いています。本種は東南アジア原産の外来種です。九州本土では

まだ確認されていませんが、今後、分布が広がる可能性があるので注意が必要です。

沖縄県では、ウラジロエノキからオキナワクワカミキリが新たに確認されました。

以上の虫害のほかに、宮崎県では、カイガラムシ類がスギの苗木生産施設で発生しました。鹿児島県では、アザミウマ類がヒサカキで発生しました。沖縄県では、前年に続き県内全域で、幼虫がデイゴの葉と実を食害するベニモンノメイガと幼虫がデイゴの茎に食入するオオエグリノメイガが、年中発生しています。また、アカギの葉から吸汁するアカギヒメヨコバイが、沖縄島・久米島・伊江島で発生しました。

病害：令和6年度のマツ材線虫病は、福岡、佐賀、長崎、大分、宮崎、鹿児島、沖縄の各県で発生が確認されました。宮崎県、鹿児島県、沖縄県の被害量は増加傾向にあります。特に宮崎県と鹿児島県内の国有林（海岸林）において甚大な被害が発生しており、被害が拡大しないよう伐倒駆除等による対策が実施されています。

ブナ科樹木萎凋病（通称「ナラ枯れ」）は、福岡、佐賀、長崎、熊本の各県で被害が確認されました。佐賀県では、令和5年までに被害が確認されていた唐津市と鳥栖市に加え、伊万里市と白石町でも新たに被害が発生しました。

その他の病害について、熊本県では‘染井吉野’に大型こぶ症、ヤマザクラにサクラ類こぶ病、宮崎県ではマツの葉ふるい病（庭木）、サカキの輪紋葉枯病（生垣）、鹿児島県ではシキミの白紋羽病、センリョウの炭疽病、沖縄県では様々な樹種で南根腐病の被害が確認されました。また、宮崎県と鹿児島県では、枝物用のシキミの生産地域において、葉の退色や枯死する被害が発生しています。本症状の発生要因については特定には至って

いないため、病害虫によるものかは明らかになっていませんが、原因究明に向けて調査が進められています。カシ・ナラ類枝枯細菌病が九州一円で依然として発生し、シリブカガシ上での新たな発生など、自然宿主の拡大が認められます。

獣害：在来種ではニホンジカとニホンノウサギによる被害が出ています。外来種では農林業被害や森林生態系への被害が懸念される特定外来生物クリハラリス（別名タイワンリス）が各地に定着しています。2023年度と2024年度の捕獲数を比較すると、長崎県壱岐

市では18,418頭から25,241頭、同県五島市では1,483頭から2,120頭に増加しました。同期間に、熊本県宇土半島（宇土市・宇城市）では1頭、1頭と変わらず、大分県高島（大分市）では0頭、0頭で、地域根絶の可能性が高まりました。近年、新たに発見された大分県別府市の個体群では2022年度～2024年度に計48頭が捕獲され、防除が進行中です。佐賀県武雄市ではクリハラリスの飼育施設周辺の森林で本種によるものとみられる古い環状食痕が初めて確認されました。改正外来生物法の施行により、地方自治体による外来種防除が今後ますます活発化すると見込まれます。

表 1 令和 6（2024）年に九州地域で確認された主な虫害

害虫名	発生地	樹種	環境
【カメムシ目】			
アカギヒメヨコバイ	沖縄県（沖縄島・久米島・伊江島）	アカギ	街路樹 植栽木
サカキブチヒメヨコバイ	佐賀県、熊本県	サカキ	植栽木
ササシロナガカイガラムシ	* 福岡県（八女郡）	モウソウチク	竹林
ソテツシロカイガラムシ	鹿児島県（奄美大島）、沖縄県（沖縄島）	ソテツ	街路樹 群落
【コウチュウ目】			
ケブカトラカミキリ	長崎県、鹿児島県	イヌマキ	植栽木
タイワンゴマダラカミキリ	沖縄県（沖縄島）	ウラジロエノキ	植栽木
オキナワクワカミキリ	* 沖縄県（沖縄島）	ウラジロエノキ	植栽木
タイワンハムシ	沖縄県（沖縄島北部）	ハンノキ	天然林
ヨシブエノナガキクイムシ	* 長崎県	クヌギ	ほだ木
カシノナガキクイムシ	福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県	マテバシイ、 ツブラジイ（コジイ）、スダジイ、 コナラ、クヌギ	天然林 植栽木
【チョウ目】			
マツカレハ	熊本県（熊本市）、鹿児島県	タギョウショウ、 クロマツ	庭木 海岸林
キオビエダシャク	宮崎県、鹿児島県、沖縄県	イヌマキ	植栽木
クロフオオシロエダシャク	* 鹿児島県	シキミ	植栽木
ホウオウボククチバ	沖縄県（沖縄島）	ホウオウボク	街路樹
【ハチ目】			
デイゴヒメコバチ	沖縄県	デイゴ	街路樹

* 被害が初めて確認された発生地

鳥獣シリーズ (23)

森林動物研究グループ 鈴木 圭

ニホンモモンガの子供の数の不思議

ニホンモモンガ(*Pteromys momonga*)は世界中で日本にしか生息していないリスの仲間です(写真1)。実はこのニホンモモンガはリスの中でも他には見られないとても特徴的な繁殖生態をもっています。何が特徴的かというと、1回の出産で産む子供の数が季節によって違うのです。本種には春と夏に出産シーズンがあります。春には子供を約2頭しか産まないのに対し、夏には約5頭もの子供を産みます。

さて、これだけだと読者の皆さんは「ふーん、季節によって子供の数が違うんだ」くらいにしか思わないでしょう。しかし大事なのはここからです。我々ヒトを含む哺乳類は、1回の出産で産まれる子供の数が、乳頭(おっぱい)の数の半分程度になることが一般的です。これはアリストテレスの時代から言われており、現代では「2分の1ルール」と呼ばれています。しかし、そのルールを無視する哺乳類たちもいます。それがリスの仲間です。

リスの仲間は大きく地上性と樹上性に分れます。地上性リスにはペットショップで売られているシマリスや動物園で見かけるプレーリードッグが含まれます。一方、樹上性リスというのは、樹上をちょろちょろと駆け回る一般に想像されるリスや、木と木の間に滑空によって移動するムササビやモモンガのことです。これらのうち、地上性のリスは他の哺乳類と同様に「2分の1ルール」に従い

ます。ところが、樹上性リスは通常、乳頭の数の半分よりもさらに少ない数の子供を産むことがよく知られていました。

では、最初にお話ししたニホンモモンガはどうでしょうか？ 本種は樹上性リスの仲間で、乳頭数は10個です。もし「2分の1ルール」に従うのなら、子供の数は5頭になるはずですが、つまり、ニホンモモンガは夏の出産の時にはちゃんと「2分の1ルール」に従っていません。一方で春の出産では乳頭の数の半分よりもさらに少ない数の子供しか産みません。これは他の樹上性リスたちと同じです。

つまり、ニホンモモンガは地上性リスと樹上性リスの両方の繁殖の特徴を持っていることになります。このように子供の数が季節間で大きく違う樹上性リスはこれまで世界中のどこでも発見されていません。そして、なぜニホンモモンガがこのような特徴を持つに至ったのかもいまだに解明されていません。このような謎を秘めた動物が世界中で日本だけに生息しているのです。



写真1 巣箱から顔を出すニホンモモンガ

地域連携推進室から

○森の展示館について

開館 平日のみ(土日祝日・年末年始は閉館)
9:30~16:30(12~13時除く)
入館 無料
予約 不要(団体様または説明員による解説を希望される場合は、事前の予約が必要です)
※業務都合によりお受けできない場合がございます

夏休み期間中は、土日祝日も開館予定です。
詳細が決まり次第ホームページに掲載します。

九州の森と林業 No.153

令和7年9月1日

国立研究開発法人 森林研究・整備機構

森林総合研究所九州支所

熊本県熊本市中央区黒髪4丁目11番16号

〒860-0862 Tel 096(343)3168(代)

Fax 096(344)5054

ホームページ

<https://www.ffpri.go.jp/kys/>



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。