

国内における  
研究開発事例を  
紹介します！



国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所  
森林バイオ研究センター編

## 健やかな生活を支える林業のために ～無花粉スギから広がる新しい林業～

大昔から人々の生活に役立ち、日本の林業を象徴する樹種であるスギ。1964年、日光市民でのスギ花粉症が初めて報告されて以来（※1）、花粉症に悩む人は増え続け、2019年には国民の38.8%にもなるという報告があります（※2）。花粉症に悩むわたしたちと、日本のくらしや文化など、様々な面において深い絆で結ばれてきたスギの関係はどうなるのか。そのヒントとなるであろう「無花粉スギ」の研究開発はこれまでも取り組まれてきましたが、今回はその中でも、森林総合研究所森林バイオ研究センターがゲノム編集技術によって開発を進めている「無花粉スギ」についてご紹介します。

### 本記事のポイント

- ◆ スギは、多くの人々が苦しむ花粉症の原因となる一方で、日本人の生活に欠かせない
- ◆ 花粉症対策として無花粉スギの開発が進められているが、交配と選抜のみに頼った林木の育種には課題も多い
- ◆ ゲノム編集技術を利用すると、材質がよく各地域特有の環境に適した無花粉スギを効率的に生み出すことが可能になる



## そもそもスギとはどんな木？

森林バイオ研究センターを訪ねた10月22日は、関東全体が冷え込み始めた時期でした。最高気温15度で雨模様の中、JR水戸駅の少し北にある十王駅から車で10分ほどで到着しました。



センターの入口。「育種」という言葉が象徴的です。

研究センターでは様々な林木（林業用樹木のことです。）の研究が行われていますが、そもそもスギとはいったいどのような林木なのでしょう。

スギは、分類学上は広義ヒノキ科スギ属スギ、学術名は *Cryptomeria japonica* といいます。学術名に「*japonica*」と付いていることからわかり、日本にゆかりがあるどころか、日本原産の常緑針葉樹です。植林によるものも含めると、北海道南部から以南のほぼ日本全土でスギを見ることができます。海外にもスギはあるのでは？と思われるかもしれませんが、スギは一属一種で、例えばヒマラヤスギはマツ科の植物です。また、屋久杉や秋田杉という種類のスギがあるのではないのかというと、どちらも *Cryptomeria japonica* で同じ種です。育った環境や樹齢、手入れをしているかどうかによって、随分と違う立ち姿になります。

## ゆっくりと流れる時間

「最近まで、木は木材になるまで評価が難しかった。育てて木材にするまでにも時間がかかるのに。」と言う、森林バイオ研究センターの藤原健・センター長の言葉からは、樹木の生きる時間がどれほどゆっくりと流れているのか、考えさせられました。

多くの農作物は、種子から育てて実がなるまで数ヶ月ほどしかかかりません。良い特性を持ったものを交配させて結果を見る、また交配させて結果を見る、という作業を繰り返すのにかかる時間は、農作物と林木では桁が違います。**農作物であれば収穫まで1年かからないものが、成長が比較的早いスギでも、材木として利用できるまで30年程度待たなければなりません。**そこから加工して木材になるまで約1年。もし、その木材を使った製品の評価にも時間がかかるのであれば、さらに数年。まず、この時間感覚を理解するところから始める必要があります。



森林バイオ研究センターの藤原健・センター長の言葉に、時間の重みを感じました。



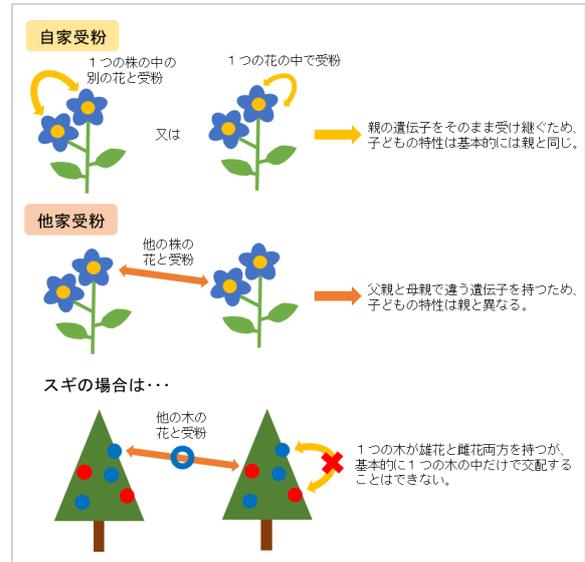
## スギの育種を妨げるもの

「スギの”育種“は、農作物の”育種“とは少し違うんです。」と言う、小長谷賢一・森林バイオ研究室長からの言葉を聞いて、一瞬意味を図りかねました。

スギは、一本の株（木）に雄花と雌花の両方を着ける裸子植物で、雄花は花粉を作って飛ばし、雌花は飛んできた花粉を受け取り（受粉）、種子を作ります。スギを始めとする林木の育種では、成長や材質といった特性の評価に相当時間がかかることに加え、スギでは「他殖」、つまり基本的に他家受粉することで種子が作られることが農作物の育種と比べて壁となっています。スギは自家受粉でも種子が全くできないわけではありませんが、得られた種子の発芽率が非常に低下するだけでなく、その後の成長も芳しくないこと（近交弱勢といいます。）が報告されており、より優れたものを生み出す「育種の壁」になっています。

他殖の反対が自殖（自家受粉）で、被子植物の多くがとるこの生殖方法は、同じ株に着いた花の雄しべの花粉と雌しべで受粉するというもので、例えばひとつの花の中にある雄しべの花粉と雌しべで受粉して種子ができます。イネなどを思い浮かべていただければよいでしょう。自殖の場合、遺伝的背景が同じもの同士、例えて言うなら“自分”同士で交配して次世代を生み出せるので、特性が固定化・均質化されやすくなります。特性の固定化・均質化が高度に進んだものは“純系”と呼ばれます。純系が確立されれば、後はその種子を取っておけば、いつでもその好ましい特性を再現できます。ですが、**遺伝的背景を“他人”と混ぜなければならない他殖で“純系”を得るのは非常に困難です。**

しかも、**スギのゲノムサイズは約110億塩基対と膨大です。**育種が進んでいるイネのゲノムは3億9千万塩基対なので、その28倍もの大きさになります（参考：ヒトのゲノムは約30億塩基対です。）。



スギは他家受粉のため、親と子どもの特性が同じになる可能性が低い。

注目している特性が子に受け継がれていることを確認するには、望ましい特性を生み出す遺伝子の塩基配列が特定されているか、注目している遺伝子と同じように受け継がれるDNAマーカー（DNAの塩基配列上の特定の位置に存在する、個体の違いを表す目印）の塩基配列がわからなければ、子どもが生まれ育ってから特性を見て推測するしかありません。

さらに、望ましい特性が遺伝的に顕性（両親のどちらか一方に由来する遺伝情報の特性が子にも現れる。）なのか、潜性（同じ遺伝情報が両方の親から受け継がれるとその特性が子に現れる。）なのか、顕性であってもそれが表面から目に見えるものかどうかで、育種の難易度は変わります。今回のテーマである無花粉スギの育種は、花粉の有無は表面から確認できるものですが**無花粉の特性は潜性なので、親の特性が子どもに現れる確率が低く、難易度が高くなります。**

さてここで、「精英樹」という考え方を紹介します。



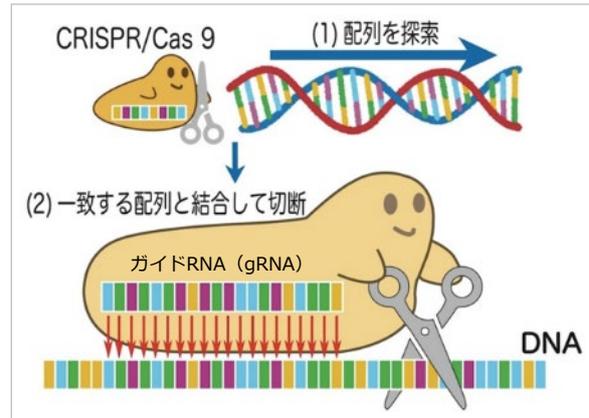


エリートの中のエリートである特定母樹は、古来より続くクローン技術「挿し木」で増やすことができます。

まず、母樹から、穂木といって、挿し木にするための枝を切り出しますが、穂木の本数は枝の本数が限界ということになります。ですから、**たくさんの苗木を供給するには種子の方が有利です**。しかし、繰り返しになりますが、**スギは他殖なので、種子による子どもの成長や材質などは、母樹と花粉親の能力の範囲内ではばらつくこととなります**。農作物では、「F<sub>1</sub>」と呼ばれる両親の“いいとこ取り”の子どもを敢えて作ることもありますが、これはどのように特性が遺伝するかがわかっていることが前提です。他殖で、しかも特性を決める遺伝子が複数に渡るような場合は、子どもには様々な特性がばらばらに受け継がれます。そのため、自殖では容易な“いいとこ取り”を繰り返して積み重ねていくような「ピラミディング育種」という方法を採用することは難しく、得られる子の特性は狙いどおりになりにくくなります。

## ゲノム編集で越える「他殖」の壁

そこで、その「他殖の壁」を乗り越える技術として、ゲノム編集が注目されています。**ゲノム編集とは、生物それぞれが持つ遺伝情報を切ったり書き換えたりすることです**。具体的には、遺伝情報を担っているDNAの、塩基と呼ばれる分子の配列を狙ったとおりに変化させることで、遺伝情報を変化させます。いくつかの手法がありますが、**スギのゲノム編集で利用されているのはCRISPR/Cas9です**。この方法の特徴は、ターゲットとなる配列を認識して、これに結合するために使われるのがRNAだということです。このRNAをガイドRNA (gRNA) と呼びますが、合成して作ることはそれほど難しくなく、他の方法よりも使い勝手がよいため、スギのゲノム編集ではCRISPR/Cas9が利用されています。



CRISPR/Cas9では、20塩基を識別して切断する場所を決定。理論上は狙った箇所を切断することができます。

(農林水産省リーフレット「ゲノム編集～新しい育種技術」より)

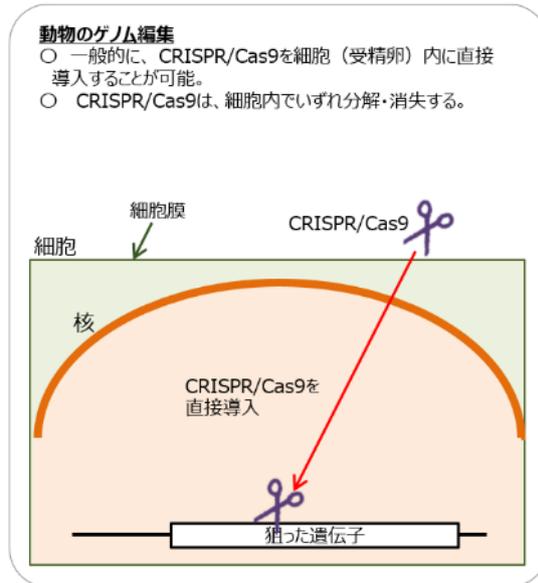
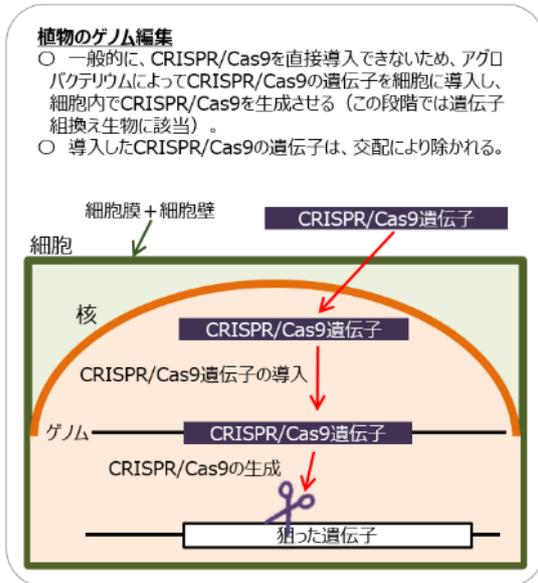
## 技術の応用を阻むもうひとつの“壁”

植物の細胞には“細胞壁”という構造があります。文字通り細胞を覆う壁のようなもので、これによってゲノム編集技術が使いにくくなります。

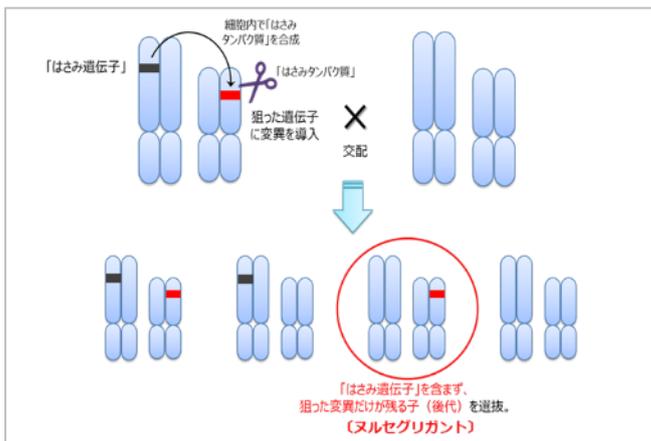
動物細胞にはこの“壁”はありません。そのため、CRISPR/Cas9を、細胞膜を通して直接細胞の中に送り込むことができます。しかも、CRISPR/Cas9は切断作業が終わればやがて分解されてしまいます。**植物細胞では、細胞壁があるせいで、又は細胞内圧や細胞膜の弱さのせいで、動物細胞のようにCRISPR/Cas9を直接細胞に入れることが非常に困難です**。そこで一旦、遺伝子組換えの手法で、植物細胞に感染するアグロバクテリウムという細菌によって、**CRISPR/Cas9を作る遺伝子を植物細胞に送り込んでゲノムに組み込み、細胞内でCRISPR/Cas9を作らせるようにします**。

そして後日、ゲノム編集した個体とCRISPR/Cas9の遺伝子を持たない個体を交配することによって、導入したCRISPR/Cas9の遺伝子を持たない子ども「ヌルセグリガント」にします。

森林バイオ研究センターでは、現在、2019年にゲノム編集を施した個体が無花粉になっていることを確認し、様々な精英樹と交配させてヌルセグリガントの無花粉スギを作り出そうとしているところです。



左が植物細胞、右が動物細胞。ゲノム編集をする上で最も大きな違いは、細胞壁の有無。（農林水産省作成）



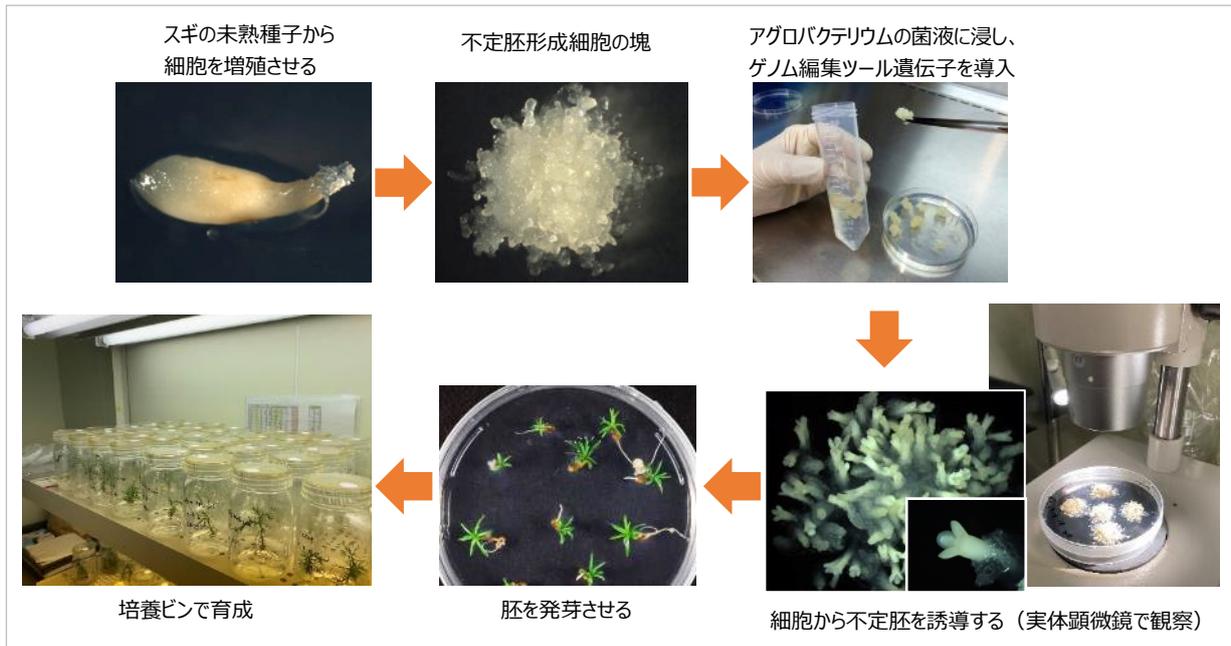
ゲノム編集を行うために導入した遺伝子が除かれたヌルセグリガントは、導入した遺伝子を持たない個体と交配することで得られます。（農林水産省作成）

## 無花粉スギを“つくる”には

前置きが長くなりましたが、無花粉スギが作られる手順を追っていきましょう。

ゲノム編集は、細胞の中にあるDNAを操作します。では、スギの種子にゲノム編集すれば、そこから生えてくるのは編集済みになるね！というわけにはいきません。植物の種子は、多くの場合、固い殻に守られています。スギも例外ではありません。ゲノム編集をしたいのは、種子の中でも芽になって育つ部分ですが、この部分に種子の状態のまま直接ゲノム

編集の操作を行うことは困難です。そこで、種子から取り出した細胞を培養するところから始めます。ところで皆さんは、細胞の培養と聞いて、どのような情景を思い浮かべるでしょうか。医療ドラマやニュースで、ヒト（動物）の細胞が培養されている風景を見たことがある人は少なくないでしょう。バクテリアや菌（真菌）が、寒天などで作られた培地の上にコロニーを作っている風景も、それほど珍しいものではないでしょう。ゲノム編集のためにスギの細胞を培養する風景は、動物や細菌の培養を見慣れていた筆者にとっては非常に興味深いものでした。



無花粉スギをつくりだす手順

まず、スギの未熟種子から細胞を取り出して増殖させます。細胞がもりもりと増えて塊（不定胚形成細胞）のようになったところで、CRISPR/Cas9を細胞内で作らせる遺伝子を導入するためにアグロバクテリウムの菌液に浸し、CRISPR/Cas9の遺伝子を細胞内に送り込みゲノムに組み込ませます。そして、導入した遺伝子からCRISPR/Cas9が作られ、ゲノム編集が実行されます。

この後、細胞塊が不定胚に育つことを促す働きのある、植物ホルモンのアブシジン酸を加えた特殊な培地で育てます。不定胚は、受精を経ずに得られた胚という意味で、写真のように白くて小さな“芽のもと”のような形をしています。この不定胚を植物ホルモンを除いた培地に移すと、あたかも種子から発芽したような芽が生えます。さらに数ヶ月経つと、スギの木らしい姿になります。培養瓶が窮屈になってきたら鉢に植え替えます。さらに背が伸びてきたら、特定網室という、外気との交流はあるものの昆虫など他の生物が入らず、花粉など内部のものが施設の外に出ないような構造の建物に移します。

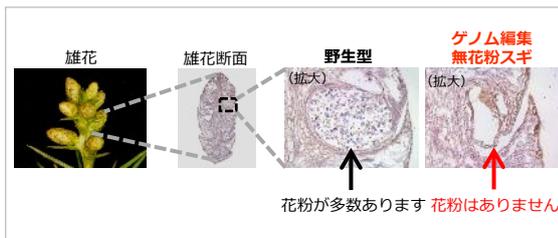
ここから、望んでいた特性が現れるかどうかを確認していくことになります。無花粉、つまり雄性不稔には、花ができないタイプから花はできて花粉ができないというのまで、いくつかのタイプがあります。今回のゲノム編集では、スポロポレニンという花粉の外壁をつくる成分の合成に関する遺伝子をゲノム編集することによって、雄花は着いても花粉はできないという変異を起こさせています。花粉の有無は雄花が着いてからでないともわかりません。自然界では成熟して花を着けるまでに20年程度かかりますが、実は意外に早く確認できる方法があります。ジベレリンという植物ホルモンを吹きかけると幼木でも花を着けさせられます。ただし、若いのに無理に花を着けさせたから花粉ができなかったのでは、という疑いもゼロではないので、継続的に着花と花粉形成の状態を観察していきます。

無花粉の特徴が確認されたら、今度は遺伝子組換えで導入したCRISPR/Cas9の遺伝子を取り除くための交配を始めます。無花粉スギでは雄花に花粉はできないので、無花粉スギ（母親）の雌花に、花粉ができる精英樹（父親）の雄花の花粉を付けます。



特定網室で、無花粉形質(生物の持つ性質や特徴)を検証中のスギの穂先

雄花は着いているものの、花粉が形成されていないことを示す七里吉彦・主任研究員



野生型と無花粉スギの雄花の断面画像  
野生型(左)と無花粉スギ(右)の葯の断面。無花粉スギでは花粉が見られません。

この交配で得られる次世代、「F<sub>1</sub>」(雑種第一代)には、CRISPR/Cas9の遺伝子は持たずに無花粉スギの変異は受け継いでいる「ヌルセグリガント」になるものがあります。森林バイオ研究センターの研究開発では、今、この「F<sub>1</sub>」の種子を手に入れたところです。では、この種子を芽生えさせ、ジベレリンを吹きかけて花粉ができなければゲノム編集無花粉スギは完成!となるかということ、そういうわけにはいきません。もうひと手間必要です。

無花粉形質は潜性で、花粉ができない遺伝子よりも花粉ができる遺伝子の方が表に現れるため、父親の花粉ができる遺伝子を受け継いだ「F<sub>1</sub>」は、母親から受け継いだ花粉ができない遺伝子を持っている

のに花粉ができてしまいます。そこで、今一度掛け合わせることで、無花粉の「F<sub>2</sub>」(雑種二代)個体を得なければなりません。ただし、スギは他殖なので近交弱性、つまり遺伝的な背景が近いもの同士の交配で表に出ていなかった好ましくない特性が現れることで、場合によっては繁殖しにくくなってしまいうという現象を避けなければなりません。そのため、母親・父親違いの「F<sub>1</sub>」を何種類か用意して掛け合わせ、無花粉でヌルセグリガント、さらに近交弱性が起こっていない「F<sub>2</sub>」を選抜する必要があります。

## 「穂先の細胞に直接ゲノム編集を施したい」

特定網室で七里吉彦・主任研究員が漏らした言葉です。今のゲノム編集の技術でも無花粉スギを作り出すことはできます。ですが、今の方法は、未熟種子から取り出した細胞をもとに不定胚を得て発芽させて無花粉スギを“誕生”させる、というものです。既に育っているスギを計画的に木材として使いつつ、新しく生まれた無花粉スギに置き換えていくには、膨大な年月が必要です。

また、ヌルセグリガントを得るための交配は、手間や時間だけでなく、ゲノム編集を施した個体に備わっていた好ましい特性が受け継がれないリスクもあります。「できることなら、エリートツリーや特定母樹のような優良個体の原木の穂先の細胞に直接ゲノム編集を施したい。しかも、遺伝子組換えを経ずに、直接CRISPR/Cas9を細胞に導入したい。」という言葉は、現在の技術的な課題を象徴するものでした。

もちろん、これらの課題を放置しているはずがありません。七里吉彦・主任研究員は、膜透過性のペプチドを配合することで、CRISPR/Cas9を細胞に直接送り込む研究を鳥取大学と共同で進めています(※5)。既に、蛍光タンパク質などを細胞に導入する技術検証の実験には成功しています。



## 身近な存在だからこそ

ところで、スギ花粉症はなぜ起こるのでしょうか。スギ花粉症はアレルギー性疾患のひとつです。原因や発生のメカニズムは、厚生労働省が公開している「的確な花粉症の治療のために」という冊子（※6）に詳しく書かれており、「“花粉は異物だぞ！”という情報が細胞へ送られてその花粉だけに反応する抗体が症状を起こすのです。」とまとめられています。この花粉から始まるアレルギー症状への流れが一度できてしまうと、花粉に触れる度に症状が起こるようになります。大気汚染物質がアレルギー反応を増強しているという研究もありますが、飛散する花粉の絶対量が多いことが、多くの人をアレルギーで悩ませることにつながっています。そして飛散する花粉の量が増えたのは、わたしたちが増やしてきたからにほかなりません。

スギは、木材としての優れた特性ゆえに、古墳時代から、食事や生活の道具、農具、船、建築物、家具など、実に様々な用途に用いられてきました。万葉集10巻には、「古の人の植ゑけむ 杉が枝に霞たなびく 春は来ぬらし」という歌があり、奈良時代には既にスギの植林が行われていたことが伺えます。その後、住居や寺社仏閣、城の建築資材として、江戸時代には大火によって失われた家屋再建の資材として、スギ材の需要が高まり、植林が広がりました（※7、※8）。さらに、戦後荒廃した山に、根の張りがよく建築資材として好まれる針葉樹の大規模な植林が積極的に進められ、1950年代後半から60年代のスギの造林は年間15万haにもなりました（※9）。現在、全国1,020万haの人工林のおよそ44%に当たる444万haが、スギの人工林となっています（※10）。世界有数の森林国である日本の森林面積は2,505万ha。これは国土面積の66%に当たるので（※11）、スギ林の面積は国土の約12%を占めていることになります。

スギ林の面積が増えれば花粉量も増えると推測されます。スギが自然に花を着け始めるのは樹齢20年から30年、植林されたスギが成熟した1970年代以降に花粉症が顕在化しはじめたのは必然だったと言えます。

花粉症には、対症療法や減感作療法といった治療法もありますが、それで全て解決されるわけではないことは、現在スギ花粉症で悩む人の数を見れば明らかです。そのため、**花粉症を防ぎながら、わたしたちの生活に欠かせないスギを利用し続けるために、無花粉スギの開発を進めています。**

## 無花粉スギの育種が拓く 様々な可能性

実は、スギでは自然に無花粉となっていた個体が20系統ほど見つかっています。現在、無花粉スギの育種の中心的存在となっている「**爽春**」もそのひとつです。他にも、少花粉や低花粉と呼ばれる個体も見つかっており、それらの交配によって優良な材質の無花粉スギを生み出す研究も行われています。では、なぜわざわざゲノム編集で無花粉スギを作ろうとしているのでしょうか。



花粉をつくらない無花粉スギ、「爽春」



それは、**ゲノム編集**が使えるようになれば、**自然に発見された無花粉個体との交配と選抜のみに頼る育種より、格段に効率的にスギ花粉症の対策が進むと考えられているからです。**

各地のスギには、元々生えていた土地での育ちやすさに関わる遺伝的な特性があります。そのため、例えば積雪の多い地方に、雪が減多に降らない地域のスギを親に持つ品種を植えても、うまく育たないということが起こります。各地特有の環境に適して、さらに材質もよい無花粉スギの品種を交配だけで生み出すには、各地域で無花粉の遺伝子を持ったスギを複数見つける必要がありますが、このようなスギが少ない地域もあります。しかし、**ゲノム編集**を使えば、**各地域の環境に合ったスギから材質がよいものを選び、効率的に無花粉スギを生み出すことが可能になります。**さらに、既に研究が進められているように、**CRISPR/Cas9を植物細胞に直接送り込めるようになれば、より迅速に花粉症対策が進みます。**

それだけではありません。**無花粉スギの研究で開発された技術は、他の特性にも応用できます。**

建材や道具となった木材は、それが燃えたり朽ちたりしない限り二酸化炭素の“貯蔵庫”であり続けます。その能力を高めるために、例えば細胞壁の成分であるセルロースを蓄積しやすくするように特性を変えることで、一般的な木材としてだけでなく、集合法やセルロースナノファイバー（CNF）の原料として利用の幅が広がるかもしれません。それらの原料から作られた製品は、使われ続けている限り二酸化炭素の“貯蔵庫”であり続けます。切った後に新しく木を植えれば、森林として二酸化炭素を吸収する機能も維持できます。

ただここで、藤原健・センター長から、「**わたしたちは、何でもかんでもゲノム編集でやろうというではありません。ゲノム編集はいろんな技術のOne of Themなんです。ゲノム編集が向いていることに使っていきたい。**」と言う、総括コメントをいただきました。新しいからよいのではなく、目的に適った技術だからよい。それは何をすべきかが見通せているからこそその言葉だと感じました。

ゲノム編集された無花粉スギが、特定網室を出て実験ほ場に植えられるようになるまで、あと5年。生物多様性に配慮しつつ、人々が花粉症の悩みから解放され、健やかで、より豊かな生活を送れるようになるために、ゲノム編集で何がどこまでできるのか、見守りたいと思います。



組換え林木隔離ほ場

ゲノム編集スギがいつ頃何本程度植えられることになるか、研究の見通しについて話す小長谷賢一・研究室長



エリートツリーの前で。

右から七里吉彦・主任研究員、小長谷賢一・森林バイオ研究室長、倉本哲嗣・林木育種センター育種部育種第一課長、藤原健・森林バイオ研究センター長、筆者

雨の中ご案内くださり、ありがとうございました。

### 森田 由子（もりた ゆうこ）氏

日本科学未来館 科学コミュニケーション専門主任

東京大学大学院理学系研究科で博士（理学）を取得。同大学大学院新領域創成科学研究科先端生命科学専攻で助手を務める。その後、万有製薬つくば研究所研究員を経て、2006年から日本科学未来館に勤務。2012年から現職。

日本サイエンスコミュニケーション協会、日本ミュージアム・マネジメント学会、日本科学教育学会に所属。主な著書に、「生き物たちのふしぎな超・感覚：進化が生んだ驚きのサバイバル戦略」などがある。

### 藤原 健（ふじわら たけし）氏

森林総合研究所 森林バイオ研究センター長

1990年、京都大学大学院農学研究科博士後期課程退学（博士（農学））。同年、森林総合研究所入所。森林総合研究所木材加工・特性研究領域組織材質研究室長を経て、2018年から現職。現在は材質育種関わる研究に従事。

### 小長谷 賢一（こながや けんいち）氏

森林総合研究所森林バイオ研究センター 森林バイオ研究室長

2004年、東京農工大学大学院連合農学研究科博士後期課程修了（博士（農学））。農業生物資源研究所（現農研機構）での特別研究員、森林総合研究所森林バイオ研究センター主任研究員を経て、2019年から現職。現在は樹木のゲノム編集技術の開発、薬用樹木の組織培養に関する研究に従事。

### 七里 吉彦（ななさと よしひこ）氏

森林総合研究所森林バイオ研究センター 主任研究員

2005年、奈良先端科学技術大学院博士後期課程研究指導認定退学（博士（バイオサイエンス））。大学、研究所での特別研究員を経て、2015年から現職。専門は、植物分子細胞生物学。現在は、植物バイオテクノロジー技術を利用した樹木の分子育種の研究に従事。

### 倉本 哲嗣（くらもと のりつぐ）氏

森林総合研究所林木育種センター 育種部育種第一課長

1997年、筑波大学博士課程農学研究科修了（博士（農学））。2000年、林野庁林木育種センター（当時）に入所。その後、森林総合研究所林木育種センター及び九州育種場での勤務を経て、2018年から現職。現在は、林木の優良系統の開発及び増殖・普及関わる研究に従事。



## 参考文献

- ※1 堀口申作、斎藤洋三「栃木県日光地方におけるスギ花粉症 Japanese Cedar Pollinosisの発見」  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/arerugi/13/1-2/13\\_KJ00001624531/\\_article-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/arerugi/13/1-2/13_KJ00001624531/_article-char/ja/)
  
- ※2 松原篤ほか「鼻アレルギーの全国疫学調査2019 (1998年, 2008年との比較): 速報—耳鼻咽喉科医およびその家族を対象として」  
<https://doi.org/10.3950/jibiinkoka.123.485>
  
- ※3 「森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法」  
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/kanbatu/sotihou.html>
  
- ※4 林野庁「特定母樹ってなんだろう」  
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/kanbatu/boju.html>
  
- ※5 森林バイオ研究センター「スギ細胞へのタンパク質直接導入方法の確立—ゲノム編集技術の効率化に向けて—」  
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/business/issue/documents/37-5.pdf>
  
- ※6 厚生労働省ウェブサイト「花粉症特集」  
[https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou\\_iryuu/kenkou/kafun/index.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/kafun/index.html)  
  
「的確な花粉症の治療のために」(第2版)  
<https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-10900000-Kenkoukyoku/0000077514.pdf>
  
- ※7 コンラッド タットマン「日本人はどのように森をつくってきたのか」、築地書館、1998
  
- ※8 小椋純一「絵図から読み解く人と景観の歴史」、雄山閣出版、1992
  
- ※9 横山敏孝、金指達郎「花粉発生源としてのスギ林面積の推移」、メディカルトリビューン、pp.67-79、1990
  
- ※10 林野庁、森林資源の現況(平成29年3月31日現在)  
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/index.html>
  
- ※11 国土交通省「平成29年度土地に関する動向」  
[https://www.mlit.go.jp/report/press/totikensangyo02\\_hh\\_000110.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/totikensangyo02_hh_000110.html)  
注：※8の林野庁の統計とは、森林面積の調査手法及び時点が異なり数値のずれがあるため、林野庁の数値を優先させた割合計算を行っています。