

葉緑体の遺伝子組換えで ストレスに強く、 環境にやさしい作物をつくる

増え続ける地球人口を救う“遺伝子銃”

現在、世界の人口は約70億人。2050年には95億人にまで膨らむと推定されています。はたして地球はその人口を養いきれるのでしょうか。

環境を守りながら、収量が多く、育てやすく栄養価の高い作物をつくるために期待される技術の一つが、遺伝子組換えです。

その遺伝子組換えの中でも、葉緑体の遺伝子組換えやその応用で世界的にも高い技術をもつ寺地徹先生に最新の成果をお聞きしました。

謎が多いミトコンドリアゲノムと葉緑体ゲノム

私は高等植物を対象に「オルガネラゲノムの遺伝子組換え」について研究しています。遺伝子組換えというと、ほとんどが核の遺伝子組換えを指しますが、私の研究室の強みは、オルガネラ（細胞内小器官）のゲノム解析とその遺伝子組換えに注力しているところです。

植物は細胞内の核の他、光合成を行う葉緑体、呼吸をつかさどるミトコンドリアにもゲノム（DNA）をもっています。これは後に植物へと進化する細胞が、はるか昔にシアノバクテリアとαプロテオバクテリアという原核生物を、細胞内共生という形で取り込んだ名残です。これらのゲノムは、核ゲノムと区別してオルガネラゲノムと呼ばれ、花粉からではなく卵細胞のみから子供へ伝わる、母性遺伝という特徴をもっています。

葉緑体をもつのは植物だけですが、ミトコンドリアはヒトや動物の細胞内でも重要な役割を果たしています。ヒトのミトコンドリアゲノムは

16.5kb、コムギは500kb以上。なぜか、もっている遺伝子の数もゲノムの大きさも植物の方が大きいのです。他にも、植物のミトコンドリアゲノムは頻りに組換えを起こし、花粉形成を阻害する新しい遺伝子をつくることがあるなど、謎が多いのもこのゲノムの研究のおもしろいところです。まだ基礎的な部分で明らかになっていないことの多いオルガネラゲノムですが、応用面からは、その特性を利用して、より人々の役に立つ作物をつくらうという研究が進められています。

葉緑体の遺伝子組換え ——タバコからレタス、トマトへ

オルガネラの遺伝子は母性遺伝であることから、組換えた遺伝子が花粉を通じて周りの環境へ不必要に広がるのを防ぐことができます。また、細胞内に2つしかない核の染色体上の遺伝子と違って、葉緑体は100個程度ある上に、一つの葉緑体の中にゲノムが100個ありますから、組換えが成功すれば、一つの細胞内に合

計1万個もの同じ遺伝子をもつことになります※。さらに、組換える遺伝子の場所をゲノム上で指定できたり、複数の遺伝子を連ねて入れられたりするなどのメリットが注目されています。

ただ、葉緑体の遺伝子組換えを適用できる植物種が少ないのが現状です。主な成功例は、モデル植物であるタバコ、作物ではレタス、トマトとその他一部のものだけです。その理由の一つは、遺伝子導入を行った外植片（植物の一部）を再分化させる（もとの植物として育てる）ことの難しさにあります。トマトは子葉、コムギは花が咲いて2週間後の未熟胚からしか効率よく再分化しません。それでも、再分化する条件がわかっているだけ、他の作物よりずっと研究は進めやすい。もう一つは、遺伝子銃の調整の難しさです。葉緑体への遺伝子導入は遺伝子銃を使ったパーデイクルガン法で行っていて、この時、組換えたい有用遺伝子を含むDNAをまぶしたとても小さな金粒子を外植片に打ち込むのですが、音速に近いスピードですから、強すぎると細胞が壊れてしまうし、弱いと奥まで届かないのです。しかも植物によってその条件が異なるため、モデル植物のタバコで成功した実験を他の作物へ応用することが一筋縄ではいかないのです。

総合生命科学部 生命資源環境学科 寺地 徹 教授

PROFILE
農学博士。父親が高校の生物の先生だったこともあって、小さい頃から自然や生物に興味があった。高校生の頃には生物の研究者を目指すようになり、大学では農学部へ。オルガネラゲノムとは、コムギとその近縁種の進化を葉緑体DNAで調べて以来の長い付き合い。遺伝子銃による葉緑体の遺伝子組換えの高い技術を誇る。京都産業大学先端科学技術研究所長（植物ゲノム科学研究センター長）も務める。北海道函館中部高校OB。

遺伝子銃
デザインされたプラスミドDNAを大量にまぶしたとても小さな金の粒子を、ヘリウムガスの圧力によって植物の葉に打ち込む。葉緑体ゲノムは、ある程度の長さのよく似た塩基配列があると、そこで組換えを起こす性質（相同組換え※左下図参照）をもっている。



レタス

レタスの葉はタバコの葉より繊細で、銃口との距離や打ち込む圧力など、実験条件は大きく違った。距離を離して、圧力を弱くして、タバコの時よりもやさしく打ち込むことで遺伝子導入に成功した。



左から野生型、組換え体A系統、組換え体B系統

せ、葉緑体の中にフェリチンをたくさん作り、鉄を溜め込む仕組みを作ったのです。

植物もヒトと同じで、強い光や寒さ、乾燥などの強いストレスを受けると、細胞で活性酸素が発生します。ヒトでは老化の原因としてよく取り上げられますが、植物の場合は、活性酸素が増えると枯れたり、成長が止まったりします。これはタバコの話ですが、活性酸素が葉緑体で発生することに着目して、活性酸素を消去する作用をもったグルタチオンという物質を、フェリチンと同じように葉緑体内でたくさん作る仕組みを作ったところ、抗酸化作用の高い植物をつくることに成功しました。

その他、現在、研究室の学生が中心になって挑戦しているのが、グルタミン酸を増やしたトマトを作らうという試みです。トマトの場合は、

果実ですから、葉緑体に相当するのは色素体ですが、この色素体に対して働きかけて、うまみ（グルタミン酸）成分を増やそうとしているのです。トマトについては、筑波大学がその培養方法について詳しいため、共同研究をすることで、再分化の問題をクリアしています。

※ ミトコンドリアについてはそのサイズの小ささや、組換わったものを選抜する方法が確立していないことなどから、遺伝子組換えがとても難しく、実用化が進んでいない。そのためは、次世代シーケンサー（同時並列で高速、大量に4つの塩基配列を読み取り、ゲノムを解読する装置）を使ったゲノム構造の解読（力を入れていて、これまでにコムギの近縁種やダイコンのミトコンドリアの全ゲノム構造を明らかにした）。

地球はいつまで人類を養えるのか ——主要穀物での応用をめざして

まだまだ実用化には課題の多い葉緑体の遺伝子組換えですが、地球の食料問題の解決のためにも、なくてはならない技術の一つだと考えています。“遺伝子組換え食品”というあまりよいイメージをもたれませんが、一般に理解が浸透するのは別に、研究を深めていくことはとても重要です。私たちが古来から行ってきた品種改良も、実は遺伝子が組換わるのを待って、その中から良い物を選ぶ作業にほかなりません。それが、DNAを扱う遺伝子組換えになるとなぜか不安を感じる人がいます。これは、社会のサイエンスリテラシーとも絡んでくる問題かもしれません。

今後は、まず主要穀物での葉緑体の遺伝子組換えを成功させたいと考えています。特にいま、鳥取大学と共同で、コムギの実験に力を入れています。また、花粉には遺伝子が伝わらないというメリットを最大限生かせる、遠くまで花粉が届くトウモロコシ（風が運ぶ）やナタネ（虫が運ぶ）などでの成功も待ち望まれます。

世界人口の3分の1が鉄分欠乏にあるとも言われますから、鉄分を増やした野菜や主要穀物ができれば、栄養障害を緩和できるかもしれません。また、遺伝子組換えによって有害な重金属を取り込む性質をもった植物を作れば、環境保全に役立てることも可能です。小さなオルガネラゲノムに立ち向かうことで、地球や人類という大きな問題の解決に役立ちたい。これからも大きな夢をもって、研究に取り組んでいきたいと思っています。

遺伝子銃によって引き起こす“相同組換え”の仕組み

