

植物幹細胞の運命操作



研究室紹介

近藤 侑貴*

Cell fate Manipulation of plant stem cells

Key Words: Plant, Stem cell, Hormone, Cell fate, Manipulation

はじめに

私は植物を材料として生物のかたちづくりの研究をしています。動物とは異なり、動かない植物は過酷な環境から逃げ出すことはできません。例えば、アスファルトのすき間から力強く花を咲かせる「ド根性植物」をニュースなどで目にしたことがあるかと思います。このように、植物は絶えず変動する環境に適応するため、根や葉、花といった器官の間で情報分子をやりとりし、体内で高度なコミュニケーションを図る仕組みを発達させてきました。この情報分子の輸送を支えているのが、「維管束」と呼ばれる輸送管です。私はこのような植物の生きざまを理解するため、維管束の形成と機能の解明にむけた研究に取り組んでいます。植物の体を構成するさまざまな細胞は、もともとなる幹細胞から、場所や役割に応じた細胞運命に従ってつくられます。これまでに、私は植物の葉を使って維管束細胞を人工的に誘導する技術を確立し、さらに幹細胞の細胞運命を操作するいくつかの手法を開発してきました。また、近年ではこの幹細胞運命制御技術を応用し、バイオものづくりやSDGsの実現に向けた新たな取り組みにも着手しています。本稿では、これまでの植物の細胞運命制御研究の成果と、その応用がもたらす展望についてご紹介したいと思います。

維管束分化誘導系 VISUAL の開発

植物の維管束は、植物の体中を張り巡らされたネットワークであり、物質輸送を担う重要な組織系です。維管束は主に、水や無機塩類を輸送する木部組織と、糖などの栄養分を輸送する篩部組織から構成されています。近年の研究により、維管束を構成する多様な細胞は、共通して維管束幹細胞からつくられることが分かってきました。しかし、維管束幹細胞は体内の奥深くに位置しているため、どのようにしてさまざまな細胞へと運命を決めていくのかを直接観察することは非常に困難でした。この技術的な障壁を克服するため、私たちの研究室では、維管束分化誘導系 VISUAL (Vascular cell Induction culture System Using Arabidopsis Leaves) という独自の技術を開発しました¹⁻³⁾。VISUAL では、モデル植物として知られるシロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana*) の葉を用い、植物ホルモンであるオーキシシンとサイトカイニン、さらに分化促進剤であるbikininを加えた液体培地中で培養することで、遺伝子組換えを行うことなく維管束細胞を大量に誘導することができます。このシステムでは、まず葉肉細胞から1~2日以内に維管束幹細胞が誘導され、培養後3~4日で木部の道管細胞や篩部の篩管細胞が効率良く分化します^{2, 3)}。これにより、運命決定の過程を詳細に解析することができるようになりました。VISUAL のもう1つの利点は、これまで研究コミュニティで収集されてきたさまざまな遺伝子変異体を直接利用できる点です。例えば、BRI1-EMS-SUPPRESSOR1 (BES1) と呼ばれる転写因子をコードする遺伝子の変異体を用いた VISUAL 誘導実験から、BES1 転写因子が維管束幹細胞から木部細胞と篩部細胞の分化に重要な役割を果たしていることが示唆されました⁴⁾。

幹細胞運命制御のメカニズムを分子レベルで理解



* Yuki KONDO

1985年11月生まれ
東京大学大学院 理学系研究科 生物科学
専攻博士後期課程 (2013年)
現在、大阪大学大学院 理学研究科 生物
科学専攻 教授 理学博士
TEL : 06-6850-5823
E-mail:kondo.yuki.sci@osaka-u.ac.jp

VISUAL-CC (Companion Cell) と名付けました。VISUAL-CC を用いた解析から、篩部組織内で篩管細胞と篩部伴細胞の分化運命は、タンパク質リン酸化酵素である GSK3 の活性によってスイッチングされることが明らかとなりました⁹⁾。

植物は、光合成で生み出した糖をスクロース (ショ糖) の形で篩部組織を介して全身に輸送します。通常の VISUAL 誘導培地には糖としてグルコースが含まれていますが、これをスクロースに変えたところ、木部細胞や篩部細胞への分化がほとんど起こらなくなりました。詳細な解析を進めた結果、スクロースは単なるエネルギー源としてではなく、シグナル分子として維管束幹細胞の維持に貢献することを見出しました¹⁰⁾。このことは、維管束幹細胞の運命制御には、内的な遺伝要因だけでなく、外部の環境要因も重要であることを意味しています。このように当研究室では、内的要因と外的要因がどのように協調して維管束幹細胞の運命を制御しているかを解析し、それらの知見を基に幹細胞運命を自在に操作できる技術の確立を目指しています。

植物幹細胞の運命操作技術を用いた新たな取り組み

植物幹細胞の運命を自在に制御する技術が確立されれば、植物細胞を人工的にデザインできるようになると期待されます。維管束を構成する木部細胞は、陸上最大のバイオマスであり、木材やバイオマス燃料の原料として重要な資源です。木部細胞はその厚い二次細胞壁によって特徴づけられ、セルロースなどの多糖類を主成分としています。これらの成分は、植物が光合成によって大気中の二酸化炭素を固定し、生成した糖を素材として利用しています。当研究室では VISUAL 技術を遺伝子工学のアプローチと組み合わせることで、木部細胞の二次細胞壁をデザインする技術を開発しています。この技術により、工業的に利用しやすい材料を植物側から設計することが可能となり、持続可能な資源の開発に貢献できると考えています。

VISUAL 技術のさらなる展開として、被子植物のシロイヌナズナにとどまらず、さまざまな植物種への適用を試みる研究も進めています。実際に、裸子植物の一種であるイチョウ (*Ginkgo biloba*) においても木部細胞の誘導に成功しており、これにより植物種ごとに異なる維管束幹細胞の制御機構を比較す

る進化的観点からの研究が新たに可能となります。さらにイチョウは、薬用物質として知られるギンコライドを維管束近傍の細胞に蓄積することが知られており、VISUAL を産業利用が期待される植物種に応用し、幹細胞から特殊な機能をもつ細胞をつくりだすことで、効率的に高付加価値物質を生産する技術につながられる可能性があります。

おわりに

当研究室では、独自に開発した維管束細胞誘導系 VISUAL を活用することで、維管束幹細胞の運命制御メカニズムを解き明かし、ゆくゆくは過酷な環境に適応する植物のいきざまを理解していきたいです。今後は基礎科学の発展だけでなく、多くの方とのコラボレーション研究を通して、環境問題や食糧問題といった社会課題にも取り組んでいきたいと考えております。

参考文献

- 1) Kondo Y, Ito T, Nakagami H, Hirakawa Y, Saito M, Tamaki T, Shirasu K, Fukuda H. (2014) Plant GSK3 proteins regulate xylem cell differentiation downstream of TDIF-TDR signalling. *Nat. Commun.* 5, 3504
- 2) Kondo Y, Fujita T, Sugiyama M, Fukuda H. (2015) A novel system for xylem cell differentiation in *Arabidopsis thaliana*. *Mol. Plant.* 8, 612-621
- 3) Kondo Y, Nurani AM, Saito C, Ichihashi Y, Saito M, Yamazaki K, Mitsuda N, Ohme-Takagi M, Fukuda H. (2016) Vascular Cell Induction Culture System Using *Arabidopsis* Leaves (VISUAL) reveals the sequential differentiation of sieve element-like cells. *Plant Cell* 28, 1250-1262
- 4) Saito M, Kondo Y, Fukuda H. (2018) BES1 and BZR1 redundantly promote phloem and xylem Differentiation. *Plant Cell Physiol.* 59, 590-600
- 5) Furuya T, Saito M, Uchimura H, Satake A, Nosaki S, Miyakawa T, Shimadzu S, Yamori W, Tanokura M, Fukuda H, Kondo Y. (2021) Gene co-expression network analysis identifies BEH3 as a stabilizer of secondary vascular

- development in Arabidopsis. *Plant Cell* 33, 2618-2636
- 6) Kondo Y. (2022) Competitive action between brassinosteroid and tracheary element differentiation inhibitory factor in controlling xylem cell differentiation. *Plant biotechnology* 39, 59-64
- 7) Shimadzu S, Furuya T, Ozawa Y, Fukuda H, Kondo Y. (2022) Spatio-temporal imaging of cell fate dynamics in single plant cells using luminescence microscope. *Quant. Plant Biol.* 3, e15
- 8) Shimadzu S, Yonekura T, Furuya T, Kojima M, Ishizaki K, Asahina M, Ohashi-Ito K, Sakakibara H, Fukaki H, Fukuda H, Kondo Y. (2025) A cytokinin response maximum induces and activates bifacial stem cells for radial growth. *Nat. Plants* 11, 1558-1571
- 9) Tamaki T, Oya S, Naito M, Ozawa Y, Furuya T, Saito M, Sato M, Wakazaki M, Toyooka K, Fukuda H, Helariutta Y, Kondo Y. (2020) VISUAL-CC system uncovers the role of GSK3 as an orchestrator of vascular cell type ratio in plants. *Comms Biol.* 3, 184
- 10) Narutaki A, Kahar P, Shimadzu S, Maeda S, Furuya T, Isizaki K, Fukaki H, Ogino C, Kondo Y. (2023) Sucrose signaling contributes to the maintenance of vascular cambium by inhibiting cell differentiation. *Plant Cell Physiol*, 64, 1511-1522

