

植物が創出した細胞間連絡シンプラストが駆動する環境変動下での個体統御と生存戦略

	研究代表者	京都大学・理学研究科・教授 野田 理孝（のたぐち みちたか）	研究者番号：00647927
	研究課題 情報	課題番号：25A305 キーワード：細胞間コミュニケーション、原形質連絡、シンプラスト、細胞間移行シグナル分子	研究期間：2025年度～2029年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

植物は、隣接細胞の細胞壁を貫いて原形質を直接つなぐ原形質連絡と呼ばれるトンネル構造により個々の細胞の原形質空間を共有しており、さらに全身に張り巡らせた篩管によってそれらを結んでいる。この全身で連続的に共有された原形質空間はシンプラストと呼ばれるが、近年の領域研究者らの研究によって、シンプラストは従来の想定よりもはるかにダイナミックな情報伝達場であり、環境変動下における植物の細胞間・組織間コミュニケーションに重要な役割を果たすことが次々と明らかとなってきた。本領域では、領域研究者らの独自の知見に基づき、シンプラストの形成機構と機能制御、およびシンプラストが駆動する個体秩序と生存戦略の分子機構を解明し、多細胞生物の個体統御機構の理解に変革をもたらす。

●植物のシンプラスト

一般的に、各細胞は独立した区域であり、膜を介して周囲の細胞と情報をやり取りすることで多細胞生物として成り立つと捉えられている。しかし、植物においては、個々の細胞は完全には独立しておらず、隣接する細胞の細胞壁を貫いて原形質同士を連絡する「原形質連絡」と呼ばれるトンネル構造でつながっている（図1A）。原形質連絡は動物のギャップ結合としばしば対比されるが、ギャップ結合は直径 2 nm 程度しかなくイオンや代謝産物などの低分子のみを通すのに対し、原形質連絡の直径は 50 nm 程度でタンパク質や RNA などの高分子も通過でき、植物細胞に特有の構造である。加えて、植物の篩管は、原形質連絡が拡大して形成されると考えられている直径 1 μm 程度の篩孔を介して連なった生細胞の管であり、内部は原形質で満たされている（図1B）。原形質連絡や篩管を介して全身で連続的に共有された原形質空間は「シンプラスト(Symplast)」と呼ばれ、植物体の広範な領域で分子移行の場となると考えられてきた。植物の体内は、分裂組織などを除き、細胞外領域が十分な水分で常に満たされているわけではない。シンプラストを介した分子輸送機構の発達は、こうした状況に適応するための植物独自の戦略と考えられる。しかし、シンプラストを構成するために植物が独自に生み出した細胞構造である原形質連絡の形成機構や機能制御機構については、未解明の部分が多い。

●長距離シグナル伝達

従来、シンプラスト経路は、糖やアミノ酸などの栄養を転流させるために使われていると考えられてきた。この概念を変えた大きな発見のひとつは、領域代表者も深く関わった花芽形成機構の研究において、2000年代初頭に花成ホルモンの実体がタンパク質であり、葉から篩管を介して頂芽まで輸送されることが明らかになったことである。しかし、植物がシンプラストを介した長距離シグナリングにどれほど依存しているのか、当時はまだよく分からなかった。こうした背景の中、領域代表者らの研究によって、篩管を介して長距離移行する mRNA が接木によって網羅的に同定された。植物ホルモン・オーキシンによる転写制御の抑制因子 IAA18 は、葉で発見した mRNA が、RNA 結合因子により篩管を介して根へ長距離輸送され、根でタンパク質に翻訳された後に発生活を制御することが示された。

●長距離シグナル伝達（続き）

加えて、本領域研究者らの研究により、植物体の窒素欠乏に応じて葉で誘導されるポリペプチド CEPD が、篩管を介して根に移行し、窒素吸収を活性化する仕組みがあることが明らかになった。さらに最近、窒素十分時に葉で誘導され窒素吸収を抑制する Grx ペプチドも見出され、両者が根において窒素吸収のオン・オフを制御することが明らかになった（図2）。こうした発見から、シンプラストは従来考えられてきたよりもはるかにダイナミックな情報伝達場であり、種々のシグナル分子が細胞間・組織間を移行することで、植物の発生や環境応答が制御されていることが示唆された。

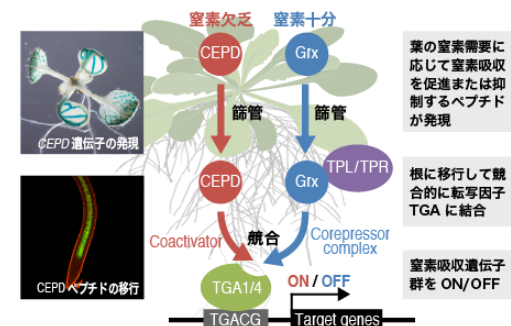


図2 葉の窒素量に応じて誘導される篩管移行性分子による窒素恒常性。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●シンプラスト形成原理の理解

シンプラスト経路を介した情報伝達の重要性が明らかになる一方で、原形質連絡の形成機構や物質輸送の制御の解明は進んでいない。また、様々な要因によって数の増減や形状の変化が起こることも知られているが、その機構もよく分かっていない。本領域代表者は、接木の境界面においては原形質連絡が同調して新生することを見出し、原形質連絡研究の突破口を拓いた。さらに、異科の遠縁な植物であっても組み合わせによっては接木が可能であることを発見し、シンプラスト形成原理は種を超えて共通であることを示した（図3）。本領域では、さらに寄生植物の宿主への侵入器官である吸器における原形質連絡の形成、葉面のトライコームにおける原形質連絡の形成、原形質連絡が複雑化した変異体などのユニークな材料を用いて、原形質連絡の形成機構の詳細を明らかにする。

●シンプラスト移行分子の同定

細胞外領域を移行するペプチドやシグナル分子の研究が進んでいる一方で、シンプラスト経路を移行するシグナル分子はこれまでほとんど注目されてこなかった。領域代表者は、長距離移行する mRNA を複数の植物種で網羅的に同定することで、種を超えて共通する mRNA 分子種を発見してきた。本領域では、この発見を突破口にして、シンプラスト移行性 mRNA の個々の機能や輸送機構を明らかにする。また、参画研究者がこれまで見出してきた非分泌型ペプチドの作用機序や活性制御機構の解明に加えて、新規分子の拡充を進める。さらに、シグナル分子が機能発揮するまでの輸送経路の解明にも取り組む。

●シンプラスト機能制御の理解

シンプラスト経路を移行する mRNA や非分泌型ペプチドによる長距離シグナリングは、植物の発生成長や環境応答の様々な場面で重要な役割を果たすことが明らかとなりつつある。しかし、原形質連絡の機能制御やシンプラスト移行分子が、どのように植物の発生成長や環境応答を制御し、情報を統御して個体としての成長を支えているのかは未解明である。本領域では、シンプラストを介した分子輸送やその調節に焦点をあてた研究の推進により、シンプラストが駆動する発生成長と環境応答機構を明らかにする。

以上のように、本領域では、これらの3つの研究標的(図4)を掲げ、シンプラスト制御という新しい視点から植物における多細胞統御機構の理解に変革をもたらす。

<https://plant-symplast.jp>

ホームページ等

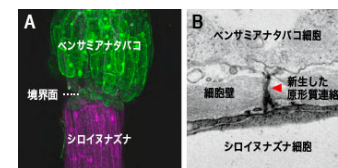


図3 (A) 異科接木、(B) 接木面に新生した原形質連絡。

シンプラスト形成原理の理解

- ・原形質連絡形成原理の理解
- ・原形質連絡開閉原理の理解

シンプラスト移行分子の同定

- ・新規移行分子の同定
- ・新規移行制御因子の同定

シンプラスト機能制御の理解

- ・発生成長制御の理解
- ・環境応答機構の理解

図4 本領域の3つの研究標的。