

花粉管に対する2段階胚珠ガイダンスの分子作動原理

研究代表者	東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・教授
	東山 哲也（ひがしやま てつや） 研究者番号:00313205
研究課題 情報	課題番号：22H04980 キーワード：花、花粉管、誘引、2段階胚珠ガイダンス、ライブセル解析
	研究期間：2022年度～2026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

花の雌しべに花粉が受粉すると、種子ができることはよく知られる。しかし雌しべの中で、花粉から伸び出す100分の1ミリメートルの管状の細胞である花粉管は、なぜ正確に遠距離にある直径100分の3ミリメートルほどの小さな卵細胞まで到達するのか。しかも胚珠（受精前の種子）が複数並ぶ場合、花粉管は整然と1つの胚珠に1本ずつガイド（誘導）される。花粉管ガイダンスの研究は、古くから生物学者を魅了してきた。申請者らの研究を中心として、卵細胞を含む胚珠から、花粉管を導くための複数の分子が花粉管に対してシグナルとして与えられることが明らかとなってきた。胚珠がどのように複数の誘引シグナルを使い分けて花粉管をガイドするのかという問いは、世界的に理解が進んでおらず、その理解は化学屈性の解明として植物科学や細胞生物学分野の大きな進展となる。リアルタイムな細胞間シグナル分子の研究によって、分子の作動原理のレベルで胚珠による複数の花粉管ガイダンスを理解することを目指す。

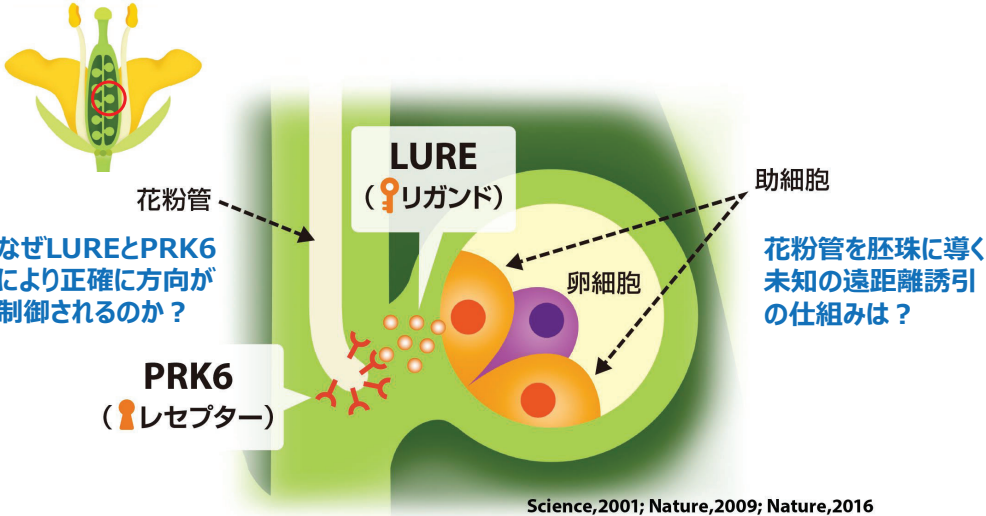


図1 研究全体のイメージ図

●胚珠による短距離ガイダンス

胚珠による粉管誘引の最終段階では、卵細胞の隣にある2つの助細胞と呼ばれる細胞が、花粉管誘引物質である約70アミノ酸からなるLURE（ルアー）ペプチドが短距離シグナルとしてはたらく。助細胞は複数種のLUREやLUREに似たペプチドを分泌する。LUREは、トレニアという植物（卵細胞と助細胞が胚珠から飛び出ている）が発見した。さらにシロイヌナズナでLURE1に対する花粉管先端の受容体PRK6（一回膜貫通型の受容体キナーゼ）を発見した。またトレニアで、LUREによる誘引の前段階で胚珠付近に存在するAMOR（アモール）という糖鎖が花粉管にLURE応答能を与えることがわかった。しかし、LUREとPRK6が具体的にどのように花粉管が伸びる方向を制御するのか、またAMORが花粉管にどのように変化させているのか、依然として大きな謎が残る。

●胚珠による長距離誘引

一方で胚珠に由来するトレニアの長距離誘引物質の候補として、CALL1を見出している(未発表)。LUREとは、以下の点で大きく異なる。1)AMORによる花粉管の活性化を必要としない、2)誘引される花粉管の曲率半径が大きく異なる、3)マイクロ流体デバイスを用いた場合でもこれらの誘引可能距離は大きく異なる(CALL1は数ミリメートル、LUREは0.2ミリメートル程度である)、4)CALL1による誘引や胚珠の長距離誘引が見られるマイクロ流体デバイスでLUREによる誘引が見られない、5)LUREのバイオアッセイ系でCALL1の誘引活性は見られない。従って、同じ胚珠からの誘引でも、LUREとCALL1では誘引のメカニズムは大きく異なると考えられる。しかし、どのように異なるのかは、全く明らかになっていない。

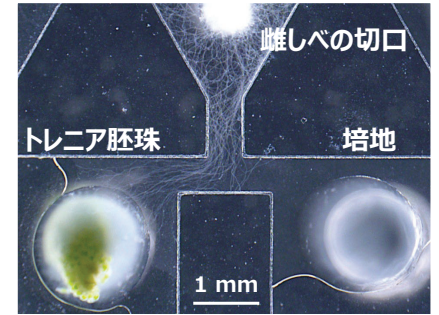


図2 マイクロ流体デバイスでの長距離ガイダンス（雌しべの切口から出た花粉管が胚珠のある左側に向かって）

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

本研究では、胚珠に由来する複数のガイダンスについて、分子の作動原理のレベルで明らかにする。花粉管（シングルセル）は、先端成長により伸長する。細胞の一端で、激しく分泌が起こることによって伸長する。花粉管が曲がる時は、この分泌の中心が曲がる側に偏る。花粉管は、伸長する細胞の化学屈性のモデルとして、よく研究されてきた。一方、先端成長ではないものの、化学屈性のモデルとして、神経の軸索ガイダンスも深く研究されてきた。神経のガイダンス分子としてはネトリンなどが有名であるが、花粉管はガイダンス分子のシンプルな拡散や濃度勾配によるリアルタイムな化学屈性の研究に向いている。さらに本研究では胚珠由来の複数の作用メカニズムのガイダンス分子を解明することを目指す。化学屈性に関する重要な研究になると期待される。

花粉管の先端では、様々な分子が、数十秒から数分の周期性を持って制御されている。LURE受容体であるPRK6は、細胞内ドメインでこれらの周期性を持って制御される経路へシグナルを入力していると考えられる。名古屋大学の武内秀憲特任助教（研究分担者）とともに検証する。PRK6は他のPRKファミリーとともに花粉管の伸長自体にはたらく受容体様キナーゼである。LUREを受容するとLUREを与えた側に分布が偏り、これが花粉管伸長の方向を変化させていると考えられている。1分子イメージングで、個々のPRK6が、LUREとの相互作用によりどのように挙動を変えるのかを明らかにする。

LUREが作用するには、急激な濃度勾配が必要であり、これが短距離性の誘引となる原因と考えている。LURE用のマイクロ流体デバイスも作製を進めており、CALL1の場合と比較して理解する。一方、CALL1など、長距離性のガイダンス分子が、どのようにトレニア濃度勾配に沿って大きな曲率半径で花粉管を曲げるのか、CALL1の作用点である受容体を同定することが重要である（AMOR非依存の作用点）。単純計算では、マイクロ流体デバイス内でのCALL1の濃度勾配は、花粉管の右と左でたった数分子の差しかないような状況である。花粉管にどのように方向の情報を与えているのか、受容体の同定や下流の解析から考察する。また、長距離ガイダンスは、精密な短距離ガイダンスの前段階で個々の花粉管を胚珠に向かわせるシグナルと考えられるが、実際に組織内でどのように分布、作用しているのか、小型で雌しべ内での解析に優れたシロイヌナズナを用いた解析で明らかにする。これにより、反発物質の存在が想定されるかについても、明らかになると期待される。

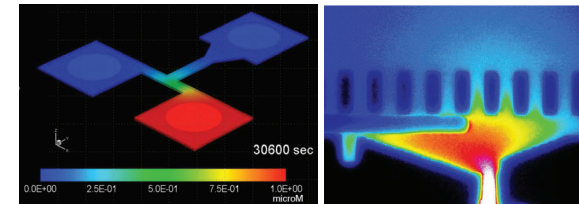


図3 長距離誘引（左）と短距離誘引（右）が見られるマイクロ流体デバイス内の濃度勾配