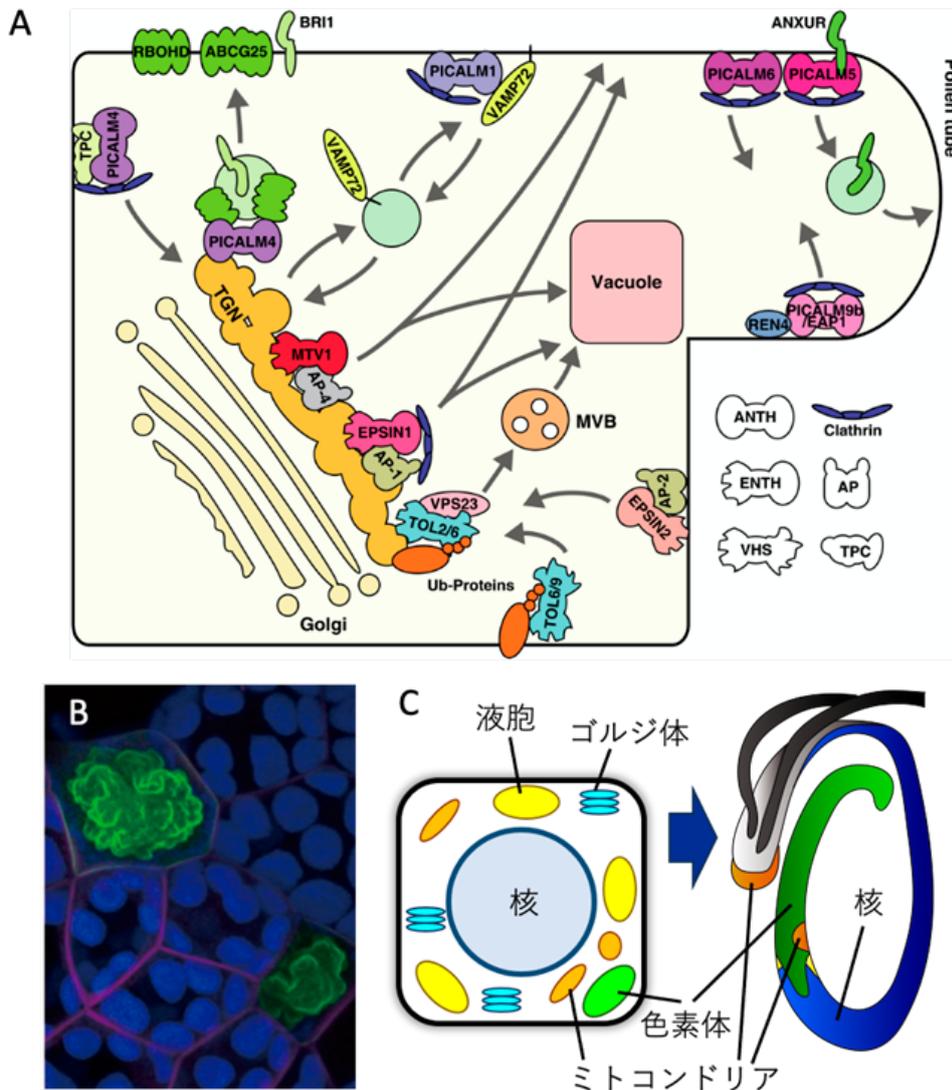


植物の膜交通研究から探る

細胞内輸送のメカニズムと進化

真核生物の細胞内には、小胞体やゴルジ体など様々なオルガネラがあり、それぞれが独自の機能を果たすことで生命現象が成り立っている。これらのオルガネラ間では小胞や細管を介した膜交通と呼ばれるメカニズムによって物質が運ばれている。膜交通の基本的なメカニズムは真核生物において広く保存されているが、それぞれ生物が独自の膜交通の仕組みを有していることも明らかになりつつある。我々は、シロイヌナズナとゼニゴケを用いて、植物における膜交通の普遍性と独自性を明らかにするべく研究を行なっている。



Staff

教授
上田 貴志

助教
海老根 一生
金澤 建彦

技術課技術職員
林 晃司

植物細胞における膜交通経路の多様化

(A) シロイヌナズナの細胞膜やtrans-Golgi network (TGN) では様々なアダプタータンパク質複合体が積荷タンパク質を選別している (文献3)。(B) ゼニゴケ葉状体細胞において、分泌経路ではたらく膜融合因子 (SNARE) の一種であるMpSYP13B (マゼンタ) が細胞膜に局在するのに対し、ホモログであるMpSYP12B (緑) は油体膜に主に局在する。分泌経路で機能するSNARE分子の機能が進化の過程で多様化していることが分かる (文献4)。(C) ゼニゴケは雄性配偶子として運動能をもつ精子を形成する。精子形成過程におけるオルガネラの再編成には、膜交通やオートファジーが重要な役割を担っている。(文献1,2)

植物に特徴的なオルガネラと膜交通

膜交通は、小胞や細管状の輸送中間体を介したオルガネラ間の物質輸送システムである。そこではRAB GTPase、SNARE、被覆複合体などが機能しており、これらの因子の多様化が、オルガネラの多様化と密接に関連していると考えられている。当部門では、膜交通とオルガネラ機能の多様化の観点から、植物の膜交通のなりたちと制御機構の研究を進めている。

液胞は、植物の細胞体積の9割以上を占めることもある巨大なオルガネラで、動物のリソソームと同様に不要タンパク質の分解を担っている。これに加え植物の液胞は、タンパク質の貯蔵や膨圧の発生など、植物に特有の機能も有している。このような多様な液胞機能の発現には、液胞ではたらくタンパク質や液胞に貯蔵されるタンパク質を、正確かつ大量に液胞に輸送する仕組みが必要である。そこでは、植物が進化の過程で独自に獲得した膜交通の制御因子が重要な働きを担っていることが明らかになってきた。我々は、植物固有の液胞輸送経路について、その獲得の歴史と制御メカニズムを明らかにするべく研究を進めている。

並行して、陸上植物の基部で分岐した苔類ゼニゴケを用いた研究も進め、シロイヌナズナの研究から得られた知見と比較することにより、陸上植物における膜交通の多様化の仕組みを解明することも目指している。例えば、ゼニゴケを含む苔類のみで見られるオルガネラである油体は、その由来や機能が長年にわたり謎であった。我々は、一般的には細胞外および細胞膜方向へ物質を輸送する分泌経路の方向性を、一時的に細胞内方向へ方向転換することで油体が形成されることを見出した。また、変異体スクリーニングにより、油体発生のマスター転写因子であるMpERF13を同定し、油体が捕食者に対する防御に役立つことを証明した(文献4)。現在も油体形成過程における分泌経路の方向転換機構の解明を進めている。

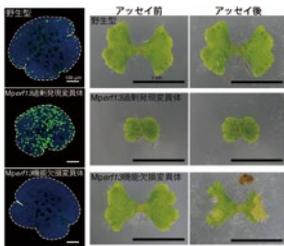


図1. 油体の形成と機能。
油体形成マスター転写因子MpERF13の過剰発現変異体では油体が過剰に形成され、機能欠損変異体では油体が全く形成されない。オカダンゴムシを用いた被食アッセイでは、油体を持たない変異体が多く被食される(文献4)。

膜交通の多様化は多様な植物機能に関与する

進化の過程における膜交通の多様化は、植物の様々な生理機能の発現と密接に関連している。例えばクラスリン依存的なエンドサイトーシスにおいてアダプターとして機能

するPICALMは、植物の進化の過程で劇的に多様化している(文献3)。我々はシロイヌナズナを用いてこれらのPICALMの機能分化の解析を進め、PICALM1が栄養成長期に細胞膜からのタンパク質の回収を担うことで成長や発生に重要な役割を果たすのに対し(文献5)、PICALM5が花粉管で生殖過程に必須の細胞膜タンパク質のリサイクリングに関わることを突き止めた(文献6)。さらに、ゼニゴケが雄性配偶子として運動能をもつ精子を形成する過程では、オルガネラの再編成にオートファジーやエンドサイトーシスが必要であることを見出した(文献1,2)。引き続き、植物の生殖過程に起こる様々なオルガネラ再編成の仕組みと意義を明らかにするべく解析を進めている。

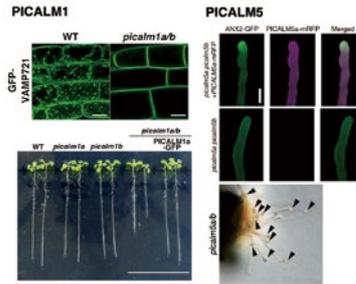


図2. PICALMはシロイヌナズナの多様な発生段階で機能する

(左図) PICALM1が欠失すると、栄養器官における細胞膜からのタンパク質の回収がうまくいかず、植物の栄養生長の様々な段階に異常をもたらす(文献5)。(右図) PICALM5の欠失は伸長中の花粉管における細胞膜からの特定のタンパク質の回収が異常になり、花粉管が伸長中に破裂してしまう(文献6)。

参考文献:

1. Minamino, N., Norizuki, T., Mano, S., Ebine, K., and Ueda, T. (2022). Remodeling of organelles and microtubules during spermiogenesis in the liverwort *Marchantia polymorpha*. *Development*. 149, dev200951
2. Norizuki, T., Minamino, N., Sato, M., Tsukaya, H., and Ueda, T. (2022). Dynamic reengagement and autophagic degradation of mitochondria during spermiogenesis in *Marchantia polymorpha*. *Cell Rep.* 39, 110975
3. Feng, Y., Hiwatashi, T., Minamino, N., Ebine, K., and Ueda, T. (2022). Membrane trafficking functions of the ANTH/ENTH/VHS domain-containing proteins in plants. *FEBS Lett.* 596, 2256-2268. review
4. Kanazawa, T., Morinaka, H., Ebine, K., Shimada, T.L., Ishida, S., Minamino, N., Yamaguchi, K., Shigenobu, S., Kohchi, T., Nakano, A., and Ueda, T. (2020). The liverwort oil body is formed by redirection of the secretory pathway. *Nat Commun.* 11, 6152. *Selected as a featured article in *Nat Commun*.
5. Fujimoto, M.*, Ebine, K.*, Nishimura, K.*, Tsutsumi, N., and Ueda, T. (2020). Longin R-SNARE is retrieved from the plasma membrane by ANTH domain-containing proteins in *Arabidopsis*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 117, 25150-25158.
6. Muro, K., Matsuura-Tokita, K., Tsukamoto, R., Kanaoka, M.M., Ebine, K., Higashiyama, T., Nakano, A. and Ueda, T. (2018). ANTH domain-containing proteins are required for the pollen tube plasma membrane integrity via recycling ANXUR kinases. *Commun. Biol.* 1, 152.

教授
上田 貴志

助教
海老根 一生

助教
金澤 建彦

