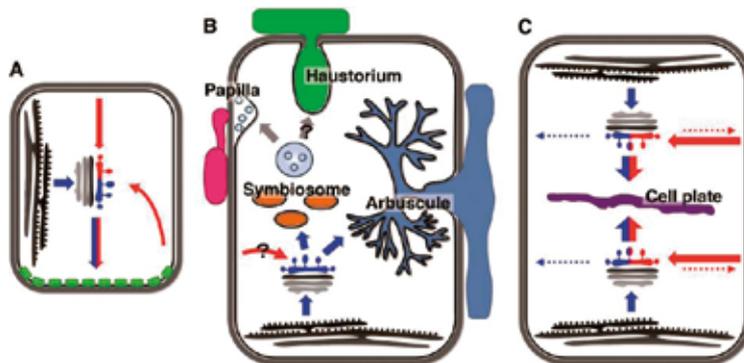
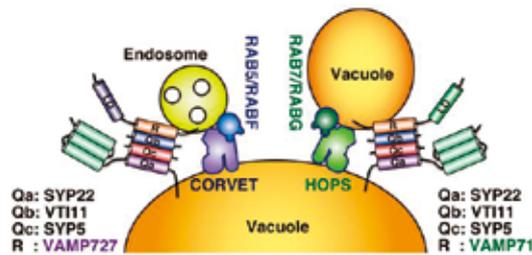
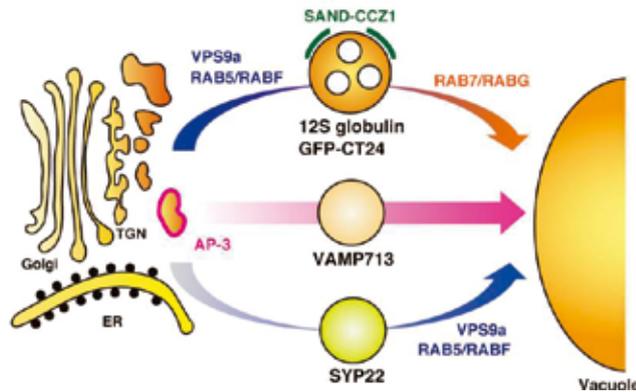


植物の膜交通研究から探る

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ます。こ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ます。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ますが、個々の系統に注目すると、進化の洗練を受けてそれぞれが独自の膜交通の仕組みを獲得していることが明らかになりつつあります。われわれは、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っています。



Members

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

NIBB リサーチフェロー
南野 尚紀

特別協力研究員
室 啓太

特別共同利用研究員
法月 拓也
(東京大学)

事務支援員
清原 愛

(上図) 植物の液胞輸送経路の模式図。動物では、後期エンドソームを経てリソソームへタンパク質を運ぶ経路は一種類しか知られていないが、植物では液胞へタンパク質を運ぶ経路が少なくとも3つ存在することが明らかになった (Ebine *et al.*, *Curr. Biol.* 2014)。

(中図) 液胞膜における膜融合装置も植物では多様化しており、植物特有の分子装置がはたらいている (Takemoto *et al.*, *PNAS* 2018)。

(下図) 植物細胞における分泌およびエキソサイトーシス経路の多様化。分泌経路は細胞内から細胞膜および細胞外への輸送であり、多くの生物にとって特定の輸送シグナルを必要としないデフォルト輸送経路である。一方、陸上植物ではこの経路で機能する分子群に著しい多様化が見られ、それらが極性輸送 (A) や共生微生物および病原菌感染部位への輸送 (B)、分裂期の細胞に出現する細胞板への輸送 (C) など、植物に特徴的な様々な現象に関与していることが示されている (Kanazawa & Ueda, *New Phytol.* 2017 より改変)。

植物に特徴的なオルガネラと膜交通

- 液胞輸送経路の多様化 -

真核細胞の中には、小胞体や液胞など、機能の異なる多様なオルガネラが存在する。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。ここでは RAB GTPase や SNARE などの鍵因子が機能しており、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。我々の部門では、膜交通とオルガネラ機能の多様化の観点から、植物の膜交通の制御機構の研究を行っている。

液胞は、植物の細胞体積の9割以上を占め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。動物のリソソームへの輸送では、RAB5 と RAB7 が連続してはたらくことによりタンパク質が輸送されているが、シロイヌナズナの液胞輸送経路の解析を行ったところ、動物と共通の経路の他に、RAB5 のみ依存する輸送経路と RAB5 にも RAB7 にも依存しない輸送経路が存在することが明らかになった (図 1)。これらの結果から、植物には少なくとも3つの液胞輸送経路があることが分かった。さらに、植物特有の膜融合装置が液胞における膜融合で機能していることも突き止めた。現在も引き続き、植物の液胞機能と液胞輸送経路の研究を行っている。

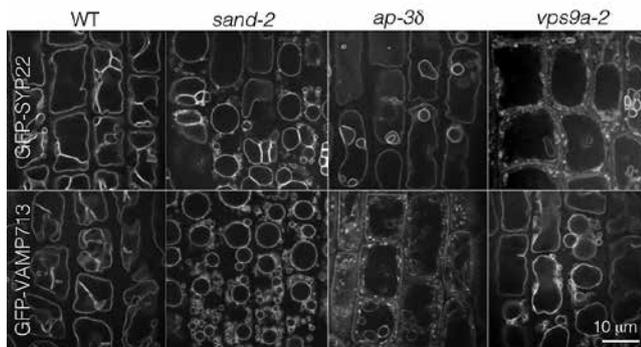


図 1. 液胞輸送制御因子の変異体における液胞膜タンパク質の局在
野生型と RAB7 の活性化に異常がある変異体 (*sand-2*) では SYP22 と VAMP7:13 が共に液胞膜上に局在するが、*ap-3* 変異体では VAMP7:13 が、RAB5 の機能に異常を持つ変異体 (*vps9a-2*) では SYP22 が細胞膜に誤輸送される。このことから、VAMP7:13 と SYP22 が異なる輸送経路で液胞に運ばれていることがわかる。

植物膜交通の進化と多様化

陸上植物は、多細胞化や陸上化という進化上の大きなイベントを経て、現在の姿となっている。その過程に、どのようなオルガネラ機能の多様化や膜交通経路の進化が介在したのかを、基部陸上植物ゼニゴケとシロイヌナズナの膜交通経路の比較解析を通して明らかにするべく研究を行っている。

緑色植物の SNARE 遺伝子の数を比較した結果、陸上化もしくは多細胞化に伴い、ポストゴルジ経路で機能する分子群の遺伝子数が増加していることが分かった。それらの局在や発現の違いは、膜交通経路やオルガネラの多様化の様子を反映していると考えられる。現在、ゼニゴケの油体に局在する SNARE である SYP1 を手掛かりに、油体形成の分子機構の研究を進めている。さらに、ゼニゴケの精子の形成や運動への膜交通の関与についての研究も展開し、雄性配偶子形成の過程で、オートファジーやエンドサイトーシスを介したオルガネラや細胞質の分解が重要な役割を担う (図 2) など、膜交通の多様な役割が明らかになりつつある。

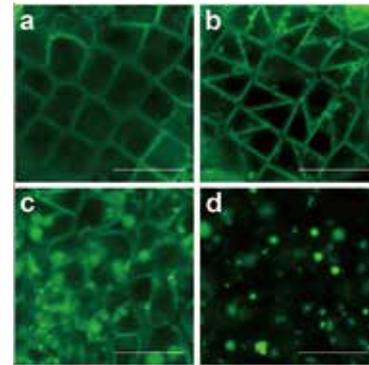


図 2. ゼニゴケ精子形成における MpSYP12A の分解
黄色蛍光タンパク質を融合した MpSYP12A は、精子形成時の初期には細胞膜に局在するが、その後分解系のオルガネラへと取り込まれる。左図では、a から d の順に精子形成が進行している。

参考文献

1. Ebine, K., Inoue, T., Ito, J., Ito, E., Uemura T., Goh, T., Abe, A., Sato, K., Nakano, A. and Ueda, T., (2014). Plant vacuolar trafficking occurs through distinctly regulated pathways. *Curr. Biol.*, 24: 1375-1382
2. Minamino, N., Kanazawa, T., Nishihama, R., Yamato, T.K., Ishizaki, K., Kohchi, T., Nakano, A. and Ueda, T. (2017). Dynamic reorganization of the endomembrane system during spermatogenesis in *Marchantia polymorpha*. *J. Plant Res.*, 130: 433-441
3. Kanazawa, T. and Ueda, T. (2017). Exocytic trafficking pathways in plants: why and how they are redirected. *New Phytologist*, 215: 952-957
4. Takemoto, K., Ebine, K., Askani, J.C., Krüger, F., Ito, E., Goh, T., Schumacher, K., Nakano, A. and Ueda, T. (2018). Distinct sets of tethering complexes, SNARE complexes, and Rab GTPases mediate membrane fusion at the vacuole in *Arabidopsis*. *Proc Natl Acad Sci USA.*, 115: E2457-E2466

教授
上田 貴志



助教
海老根 一生



助教
金澤 建彦

