



九州大学

理化学研究所

TEL : 045-503-9117

九州大学

TEL : 092-642-2106 (広報室)

植物細胞中での新規な大量物質輸送装置  
分泌小胞塊 (Secretory Vesicle Cluster) の発見  
(植物性バイオマス増産への応用に期待)

### 概要

植物は生長する際に、ゴルジ装置<sup>注1)</sup>で合成されるペクチン<sup>注2)</sup>等の多量の細胞壁<sup>注3)</sup>成分を、細胞外へ分泌<sup>注4)</sup>します。我々は未解明であったこれら物質のゴルジ装置からの輸送機構を解析し、この輸送に関わる細胞内装置が、植物細胞に特徴的に見出される分泌小胞の連なった構造であることを世界で初めて発見し、それを分泌小胞塊 (SVC) と命名しました。現在進行中の SVC の形成機構の解析を通じて、将来 SVC の形成能力と細胞壁成分合成能力の増強を、遺伝子組換えにより植物に付与することにより、糖質バイオマスの高生産能を持った植物の創出が可能になると期待されます。

この研究成果は、米国科学雑誌 「The Plant Cell」 のオンライン版 (preview) に、2009年4月17日に公開されました。なお、本成果は、文部科学省及び日本学術振興会からの、科学研究費補助金によって得られた成果です。

### ■ 背景

植物は、動物に比べて大きな細胞を、細胞壁に囲まれた形で持っています。この細胞壁は、セルロースと共に、ペクチンやヘミセルロース等の多糖類、細胞壁タンパク質やリグニン等から形成されています。植物の生育には、生長中の細胞の細胞壁と細胞膜の増大・伸長が必要であり、芽生えや根端、培養細胞等の急速に増殖している植物の組織や細胞においては、細胞膜と細胞外への膜成分と細胞壁多糖やタンパク質の効率良い供給が必用となります。従って、植物の生産を増大させる為には、これらの機能の増大を図る必要があります。そこでこれらの合成系に関わる酵素やその酵素の発現の制御因子の解析が従前からなされていますが、これらの発現の上昇だけで、細胞壁成分の合成を劇的に増強することはできていません。この原因の一つは、これまでに取られた方法では、これらの合成の能力の増強だけを図っており、細胞内における輸送能力の向上を図っていないことにあり、それはこの輸送経路に関わる構造体が同定されていないことに起因すると考えられていました。

さて、これらの細胞外成分は、小胞体<sup>注5)</sup>やゴルジ装置で合成され、ゴルジ装置等で液胞への輸送経路に向かう分子と仕分けされ、細胞外へと輸送されるということが判っています。このうち小胞体からゴルジ装置への輸送には COPII 被覆小胞という構造体が、ゴルジ装置から液胞への輸送にはクラスリン被覆小胞と呼ばれる構造体に関わることが知られていました。しかし、ゴルジ装置から細胞外への輸送、すなわち植物細胞において最も大量の物資の輸送に関わる構造体の同定はなされておらず、動物や酵母での研究から、分泌小胞と総称される膜小胞に関わることが類推されていたに過ぎません。

細胞内での多糖やタンパク質の合成と輸送の経路は、産業における物資の合成・加工・輸送と対比されます (図1)。従って、植物細胞がおこなっている、ゴルジ装置から細胞外への多量の物質の輸送には、単位体積あたり多くのエネルギーを使うトラック型の輸送ではなく、省エネルギー輸送系であるコンテナ輸送に対比される効率良い機構である可能性が考えられます。

## ■ 内 容

九州大学農学研究院の 松岡 健 教授（理化学研究所植物科学研究センター客員主管研究員兼務）と、理化学研究所植物科学研究センターの 豊岡公德 研究員等からなる研究グループは、Secretory carrier membrane protein 2 (SCAMP2)と呼ばれるタンパク質をマーカーとし、タバコの培養細胞 BY-2 株を主な研究材料に用いて、植物細胞におけるゴルジ装置から細胞外への輸送機構を解析しました。蛍光標識後の光学顕微鏡観察の結果、SCAMP2 は長さ 300～700 nm の構造体に存在し、その一部はゴルジ装置の末端に位置するトランスゴルジ網<sup>注6)</sup>であるが、これ以外にゴルジ装置と離れた構造体にも存在し、それらは細胞内を動き回り究極的には細胞膜に輸送されていることを見出しました。そこでこの構造体の微細構造を同定するために、急速高圧凍結法<sup>注7)</sup>により固定したサンプルを用いて、抗 SCAMP2 抗体を用いた免疫電子顕微鏡観察を行ったところ、この構造体は、直径 50～100 nm の膜小胞が 5～12 個集まった構造を取っていることを見出しました。またタンニン酸で強く染色されるというこの構造体の性質を用いて、この構造体の微細構造をトランスゴルジ網と比較検討した結果、この構造体には液胞への輸送に関わるクラスリン被覆小胞は殆ど存在しないことを見出しました。また、この構造体には、分泌性のタンパク質や、細胞外多糖であるペクチンが存在していたこと、この構造体が細胞膜に繫留されていたり、その膜が細胞膜に融合している像が電子顕微鏡により観察されたことから、この構造体は、細胞膜／細胞外への分泌に関わる分泌小胞が集まった構造体であることが判明し、この構造体を分泌小胞塊 (Secretory Vesicle Cluster: SVC) と名付けました。

そこで SVC が広く植物の細胞に存在しているかを、電子顕微鏡観察により検討しました。用いたイネの培養細胞、シロイヌナズナの表皮細胞、タバコの根の細胞という、異なる種や異なる器官の細胞にもこの構造体は認められました。従って、この構造は広く植物界に存在している構造であることが判りました。

さて、植物の細胞分裂の過程において、分裂した 2 個の核の間に新たな細胞壁が形成され、その過程では多量の細胞外物質がこの形成過程の細胞壁（細胞板と呼ばれる）に輸送されると考えられています。そこで細胞分裂過程における SVC の動きを観察したところ、細胞の内部から細胞板に多数の SVC が動いてゆくことが見出されました。このことは、SVC が植物細胞の分裂と伸長という増殖に不可欠な 2 つの出来事に深く関わっていることを示しています。

なお、SVC の多数の小胞からなる構造は、動物の高分泌能を有する顆粒球等の分泌小胞とは異なり、細胞内で単独に存在せず絶えず繋がった状態で存在し、細胞内を移動しています。このことは、植物細胞の伸長や細胞の分裂過程においては、細胞外に分泌される成分のみならず多量の細胞膜の構成要素（膜脂質や膜蛋白質）の供給が必要なため、比較的広い表面積を持った構造体である球状の分泌小胞の集合体を一つの単位として、少ないエネルギーで細胞内を輸送するシステム（図 2）を植物が進化させてきたためと考えられます。

## ■ 今後の展開

今回、植物細胞中で多量の細胞外多糖や分泌タンパク質を輸送する構造体である SVC を発見することが出来ました。次のステップは、SVC を構成するタンパク質とそれらの遺伝子を明らかにし、それらを用いて SVC の形成機構を解明することです。SVC の形成機構が解明された際には、細胞外多糖の合成能力と、SVC 形成能力を共に遺伝子組換え法により増強することにより、細胞外多糖を多量に蓄積した植物の育成、すなわち植物バイオマス超蓄積植物の育成が可能となると期待されます。

### 【用語解説】

#### 注 1) ゴルジ装置

細胞内に存在する、生体膜からなる袋状構造が層状に薄く何枚も重なりあった構造体。細胞内でタンパク質の仕分け、タンパク質に付加された糖鎖の改変に関わることが知られている。植物においては、このような機能と共に、セルロース以外の細胞壁多糖の合成をおこなっていることが知られている。

#### 注 2) ペクチン

植物の細胞壁多糖の一種。水に溶けやすく、またゲル化しやすい性質を持つため、ジャムの製造や、その他の食品加工の際に多用される。主原料は、ミカンやリンゴのジュース製造の際の副産物である搾りかす。

#### 注 3) 細胞壁

植物と菌類の細胞の最も外側をかこっている強固な構造。植物においては、セルロース、ペクチン、ヘミセルロース等の多糖、糖タンパク質とリグニンを主成分としている。

注4) 分泌

細胞の内側から細胞の外側に物質を排出すること。小胞体に始まり、ゴルジ装置を経由するタンパク質の分泌経路を、分泌系と呼ぶ。

注5) 小胞体

細胞内で編目状構造を取るが、細胞を破碎すると小胞構造を取りがちな、細胞内小器官。分泌タンパク質の合成、生体異物の分解、脂質の合成等、各種の機能を持っている。

注6) トランスゴルジ網

ゴルジ装置の、出口側に存在する網目状構造。植物細胞においては、この部分に多数の輸送に関わる膜小胞が存在していることが多い。

注7) 急速高圧凍結法

急速に冷却した液体でサンプルを加圧しながら凍結することにより、ミリ秒単位でサンプルを冷凍する方法。この方法を用いて固定したサンプルにおいては、細胞内の構造が生きたままの状態を反映した形態・状態で固定されている。

【参考図】

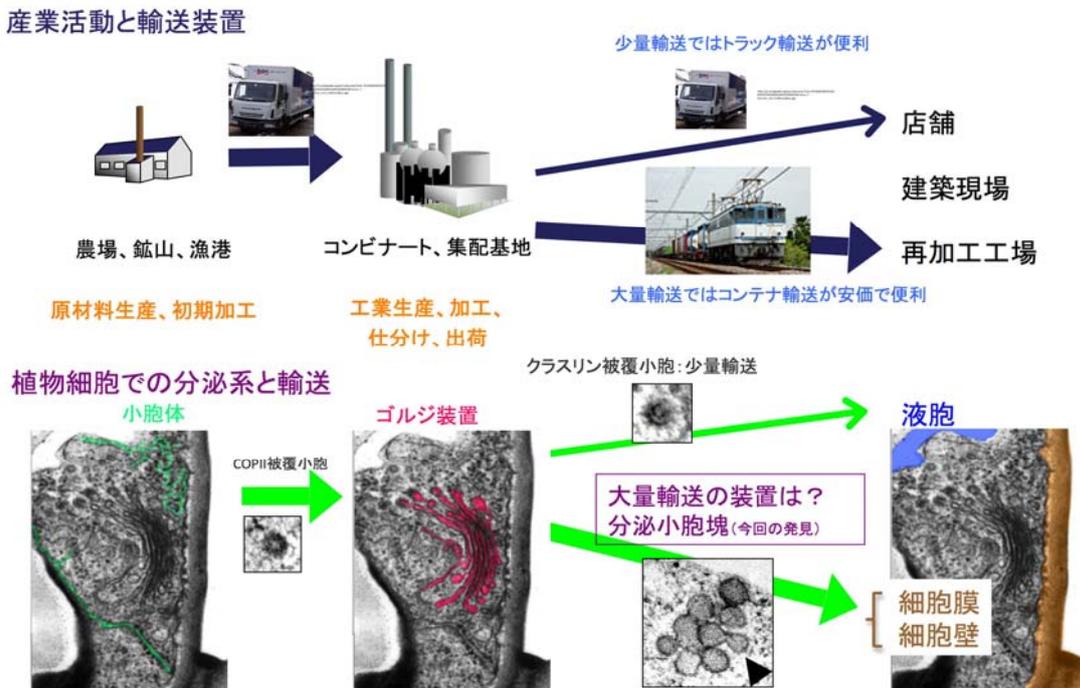
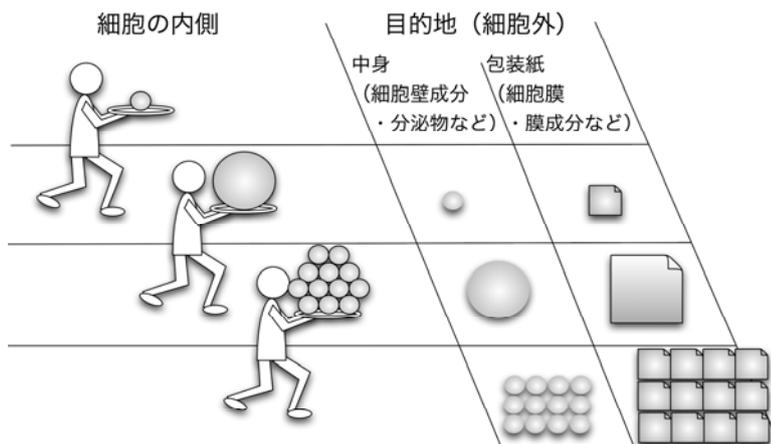


図1. 産業活動と植物細胞中での分泌系の対比と、大量輸送に関する分泌小胞塊



## 図2. 小胞塊での輸送の利点。

細胞内で輸送される装置は、モータータンパク質（図では人で表す）により、細胞骨格のレール上を運ばれる。この際、モータータンパク質はかなりの大きさの細胞内構造体を動かすことができるので、小さな輸送小胞を一個動かすのであれば、エネルギーの無駄が生ずる。そこで小さな小胞を複数個か、それと同じ内容物を持つ大きな輸送のための構造を動かすことができる。その際に小さな小胞複数個を用いると、同じ内容量であっても大きな表面積の構造を輸送することとなり、結果的に多量の中身（細胞壁成分）と多面積の包装紙（細胞膜成分）を同時に輸送することができる。

### 【論文名】

A Mobile Secretory Vesicle Cluster Involved in Mass Transport from the Golgi to the Plant Cell Exterior  
(植物細胞外部へのゴルジ装置からの多量輸送に関与する動き回る分泌小胞塊)

#### 【お問い合わせ】

松岡 健 (マツオカケン)  
国立大学法人 九州大学 農学研究院 植物資源科学部門  
植物生産科学講座 植物栄養学分野  
〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1  
電話：092-642-2846  
携帯：080-5028-4595  
FAX：092-642-2846  
Mail：[kenmat@agr.kyushu-u.ac.jp](mailto:kenmat@agr.kyushu-u.ac.jp)

豊岡公徳 (トヨオカキミノリ)  
独立行政法人 理化学研究所 植物科学研究センター  
電話：045-503-9111 内線 8258  
Mail：[toyooka@psc.riken.jp](mailto:toyooka@psc.riken.jp)

(報道担当)  
独立行政法人理化学研究所 広報室 報道担当  
電話：048-467-9272  
Fax：048-462-4715  
Mail：[koho@riken.jp](mailto:koho@riken.jp)

九州大学広報室  
電話：092-642-2106  
Fax：092-642-2113  
Mail：[koho@jimu.kyushu-u.ac.jp](mailto:koho@jimu.kyushu-u.ac.jp)