

植物形態研究の最前線

Frontiers of Plant Morphology Research

峰 雪 芳 宣

Yoshinobu Mineyuki

兵庫県立大学大学院生命理学研究科

キーワード：植物形態、急速凍結、電子線トモグラフィー、透明化、ライブイメージング

フックの法則で知られる Robert Hooke が自作の顕微鏡でコルクを観察して見つけた“細胞の発見”，植物学者 Robert Brown がランの表皮細胞の観察から見つけた“核の発見”など，細胞生物学の多くの重要な発見が植物材料を使って行われて来た。“細胞説”も Matthias J. Schleiden が植物で発表し，翌年 Theodor Schwann が動物で発表したことで確立された。これらの研究は Ernst K. Abbe が顕微鏡の理論を確立する前の時代の話で，顕微鏡の発達と植物学の進歩が連携して得られた成果である。最近の顕微鏡分野では，共焦点レーザー顕微鏡，超解像顕微鏡など従来の解像度を超える光学顕微鏡が出現，また，電子線トモグラフィーなど電顕レベルでの 3D イメージング技術も開発され，顕微鏡の新時代に突入している。この新しいイメージング技術の開発の流れに乗って，現代植物科学分野でも目覚ましい進歩が見られる。本特集では，最近のバイオイメージング法の進歩によって得られつつある植物形態分野の最前線の話題として，電顕レベルの話題 2 題と組織レベルの話題 2 題を紹介する。

従来の電顕観察では，固定・包埋などの試料作製過程での細胞構造の変形が考えられ，“乾燥したスルメを観察して生きたイカを観察したことになるのか？”という批判があった。この批判を克服するため，電顕学者はより真実に近い構造を見られるような試料作製法を工夫してきた。最近では，様々な凍結技法や凍結置換法の開発がなされている。植物体を構成する細胞の原形質は，原形質連絡と呼ばれる構造によって物理的に繋がっている。この原形質連絡で繋がった細胞膜の内側の水や低分子の溶質が拡散によって自由に移動できる部分をシンプラスト，細胞膜より外側の部分（細胞壁と間隙の部分）をアポプラストと呼び，植物体内の物質輸送経路を議論するときには重要な概念になっている。長里らはシンプラストがどのように広がっていくかを考える上で興味ある褐藻類の細胞間連絡の形成過程について解説する。この研究は液化プロパンを使った急速凍結置換法によって細胞質分裂過程の膜や微小管の様子が可視化できたことで可能になった。

もう一つの電顕レベルの話はアクチン-微小管の相互作用

の話である。植物細胞の細胞分裂面の位置は核分裂前に分裂準備帯とよばれる微小管の帯が細胞表層に並ぶことで決定する。蛍光顕微鏡観察から，この微小管帯形成にアクチンが重要な働きをしていることが示唆されていたが，その詳細は不明であった。加圧（高圧）凍結と凍結置換法の工夫により，細胞表層の単独のアクチン繊維を可視化できるようになった。竹内と峰雪は，分裂準備帯形成過程で，比較的短い 1 本のマイクロフィラメントが近くにある 2 本の微小管を繋げることで微小管の束化を促進することを見つけた話を紹介する。これは加圧凍結・凍結置換による再現性のある試料作製と，電子線トモグラフィーによる 3D 定量解析が可能になったことでできた研究である。

残りの 2 題は組織レベルの話になる。組織を透明化して細胞レベルの分解能で観察する必要性は古くからあり，抱水クロラルを含んだ透明化液などが使用されていた。蛍光色素で分子をラベルして観察することが主流になってきた現在では，透明化しても蛍光が検出できる透明化液が必須である。また，試料作製時間の短縮も現代の透明化液に求められる要素である。植物組織向けの透明化技術 TOMEI を開発したグループの坂本と松永が，TOMEI を含む植物の透明化技術の現状について解説する。

最後の話題は，永原と東山による組織の中をライブイメージングで覗く話である。植物が陸上で被子植物への進化する過程で，精子は水中を泳ぐのを止め，花粉管の中に精子を入れて運ぶという輸送手段を手に入れ，花器官の奥深くで受精を行うようになった。この受精の様式は独特で重複受精と呼ばれている。著者らは，この組織の奥深くで行われる受精過程を生きたまま観察するために，顕微鏡下で受精を再現する実験系，それを見るライブイメージング技術と細胞操作技術を開発した。これらの技術により，今まで秘密のベールに包まれていた重複受精の分子メカニズムが明らかになりつつある。本特集により植物科学にも興味をもっていただける若い人が増えることを期待したい。