

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：32670

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26440170

研究課題名(和文)花粉形成過程に出現するオルガネラ群の網羅的な超微構造解析

研究課題名(英文)Wide-range ultrastructural analysis of organelles in pollen formation

研究代表者

永田 典子(Nagata, Noriko)

日本女子大学・理学部・教授

研究者番号：40311352

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：葯タペータム及び雄性配偶体は、特殊に分化した多くの脂質系オルガネラを内包するが、それらオルガネラの動態・機能についての全貌は明らかになっていない。私は、透過電子顕微鏡(TEM)レベルでシロイヌナズナ葯における脂質のオルガネラ局在マップを作成し、これら脂質系オルガネラの形成過程の詳細を明らかにした。広域TEM画像は、外部PCから電顕をプログラム制御し数千から数万枚の画像を全自動で撮影するものである。さらにシロイヌナズナ脂質関連遺伝子欠損変異体の観察を行い、ポーレンコートを形成する機能性の脂質分子種を推定するなどの新知見を得た。

研究成果の概要(英文)：Tapetum and male gametophyte in higher plants contains characteristic lipid-rich organelles. Transmission electron microscopy (TEM) is a powerful method for the ultrastructural observation of organelles. To understand the mechanism for formation of these lipid-rich organelles in tapetum and male gametophyte, I made an organelle-map using transmission electron microscopy in wild-type Arabidopsis. Digital TEM images were captured by a custom auto-acquisition system and merged by an auto-image tiling program. Furthermore, I analyzed the Arabidopsis mutants of lipid metabolism and described the role of lipids on the male gametophyte and tapetum development. It is becoming clear that some lipids are critical for tapetal lipid-rich organelles.

研究分野：植物細胞形態学

キーワード：電子顕微鏡 オルガネラ 脂質 葯

### 1. 研究開始当初の背景

高等植物における花粉形成は、高度に制御されたオルガネラ分化に支えられている。これまでに私は、細胞生物学的手法を用いて、花粉形成過程にのみ特異的に見られる種々のオルガネラの存在を示してきた。一方、国内外における不稔や花粉致死の変異体解析で、これまで花粉形成に関わる多くの遺伝子が同定されてきた。その中には脂質合成や輸送に関わるものが多く、花粉形成時に特異的に働く脂質関連遺伝子の存在が近年特に注目されている。例えば、アブラナ科植物の葯最内層のタペタムにはタペトソームとエライオプラストという特殊に分化したオルガネラが存在する。私は以前に、それらオルガネラの内包成分であるステロールやワックスが、ポーレンコートを形成する上で重要な成分となることをつきとめた。しかし、どの遺伝子がどの脂質合成や輸送に関係し、個々の脂質系オルガネラの成分が何に機能するのかなど、花粉形成をめぐるオルガネラの動態・機能についての全貌は明らかになっていない。

今や、遺伝子・代謝産物・オルガネラを一本の線でつなぎ、飛躍なくそれらの関連を説明づけることが望まれている。しかし、とりわけ花粉形成過程においてはこれらの関連づけは難しい。その理由の1つは、これまでの研究は生化学的分析結果に基づくものがほとんどであり、*in vivo*における脂質成分の局在性や機能性の検討が立ち後れていたことである。抗体染色の可能なタンパク質等と異なり、脂質は特定の分子種のみを特定して局在性を示すことは困難である。その点、脂質代謝を担う酵素の欠損変異体解析は、脂質成分の量比を変え、その影響を知る手段として有用であるといえる。その観点から私は、脂質代謝変異体の電子顕微鏡(TEM)レベルでの観察を通じて、どの脂質がどのオルガネラに含まれるのかを顕微鏡学的に捉えることにした。しかしながら、花粉において遺伝子・代謝産物・オルガネラの関連づけが難しいもう1つの理由は、花粉関連の変異体は表現型に振れ幅があることである。これは花粉形成過程でのオルガネラ分化が著しく速いためにミクロレベルで均一な表現型となりにくいこと、また花粉関連の変異体には漏出性のものが多く分離ひずみが解析を困難にすることなどによる。そこで私は、このような変異体の表現型の振れ幅や生物が元来持っている表現型の不揃いさを統計学的に処理することを目的に、網羅的解析を可能とする、広域 TEM 画像取得法の開発に取り組んだ。その結果、数万枚にも及ぶ広域の TEM 画像の取得及び画像結合を全て自動化することに成功した。

以上の経緯を経て、私はこれまでに開発してきた「変異体解析」と「広域 TEM 画像取得法」を組みあわせることで、脂質関連の花

粉形成異常変異体群から膨大な TEM 画像を得て統計学的処理を行い、花粉形成に働く遺伝子・代謝産物・オルガネラの関連づけを行うことができると着想した。

### 2. 研究の目的

花粉形成過程では種々の脂質系オルガネラが観察されるが、未だそれらオルガネラの動態・機能等の全貌は明らかではない。私は、これまでに開発してきた広域 TEM 画像取得法を応用することで、抜けのない葯全体におけるオルガネラマップの作成を作成し、脂質成分とオルガネラ構造との関連付けを行うことを目的とした。脂質代謝変異体の広域 TEM 画像観察を行い、また変異体のもつ振れ幅や不揃いさを統計学的に処理する手法の開発も併せて行い、脂質とオルガネラが関連づけられた網羅的な超微構造学的情報を得ることとした。

### 3. 研究の方法

#### (1)広域 TEM 画像取得法を用いたシロイヌナズナ花粉形成過程の葯オルガネラマップの作成

これまでに私は、何万枚もの TEM 画像を自動で撮影・結合する手法の開発を行った。これは、外部 PC から電頭をプログラム制御し電子ビーム方向と試料位置の制御を組み合わせることで、広域の電頭画像を全自動で撮影するものである。また、画像認識プログラムにより、糊しる部分を張り合わせることで、大量の画像を全自動で結合することにも成功した。これまでに、マウス腎臓を材料に、最大 37,881 枚から成り、面積にして約 600  $\mu\text{m}$  四方の領域をカバーする 1 枚 TEM 画像を取得することができた。そこで、この手法を用いて、野生型シロイヌナズナの花

#### (2)広域 TEM 画像からの画像分類法の確立と統計学的処理

花粉関連変異体に特有の表現型の振れ幅に由来する誤認識をなくすためには、広域 TEM 画像を自動で大量に取得すると同時に、そのデータ解析として大量画像に対する処理速度の向上と、人間の恣意的感覚によらない客観的指標を設けることも必要である。そこで、CARTA ソフト (Kutuna et al.2011, Nature Com.) を用いることで、広域画像から自動でオルガネラを認識・分類する技術の開発にも取り組んだ。また、TEM 画像を既存のバイオインフォマティクス情報と統合するためには、画像データから意味のある電子情報を取り出すための技術が必要である。そこで、Image J を用いた画像処理により、オルガネラの形などを統計学的に数値化する試みも行った。

#### (3)シロイヌナズナ脂質関連遺伝子欠損変異体の観察

ある代謝系の酵素が欠損した場合、その下流の機能代謝産物が欠損する。すなわち、その機能代謝産物の上流の酵素欠損であればどれも同じ表現型となるため、同じ代謝系の複数の欠損変異体を観察することにより、その欠損脂質分子種が何であるかを予想することができる。そこで、シロイヌナズナの脂質関連遺伝子欠損変異体を TEM 観察し、微細構造観察した。対象としては、メバロン酸経路及び非メバロン酸経路におけるステロール等に関する変異体と、脂肪酸合成に関する変異体、さらに色素体の糖脂質関連変異体である。これにより、どの脂質分子種が花粉形成のどのステージのオルガネラに局在しているかを明らかにできる。

#### (4)網羅的3次元画像取得のための連続切片SEM観察法の改良

広域 TEM 画像取得法により、容易に網羅的画像情報が得られるようになったが、2次元情報だけではオルガネラ構造の本質を見誤ったり、オルガネラの数や占める体積の算出等が困難であるなどの問題があり、やはりそれは無視できない欠点であることが明らかとなってきた。そこで、3次元情報を得るべく新しい手法開発も並行して行った。これまで3次元情報を得るには、TEMの連続切片構築法を用いることが一般的であったが、それには熟練の試料作成技術が必要なことと、切片のロスや歪みが生じやすいことが問題であった。そこで、近年開発されつつある SEM を用いた連続切片の観察法を用いることで、抜けのない3次元の葯構造を得ることにした。

#### 4. 研究成果

##### (1)広域TEM画像取得法を用いたシロイヌナズナ花粉形成過程の葯オルガネラマップの作成

広域 TEM 画像取得法における画像処理法の改良および作業効率の適正化等を行い、容易に広域の2次元画像を得ることができるようになった。これにより多くの広域画像を取得し、多くの新規の知見を得ることができた(雑誌論文<sup>①</sup>、学会発表<sup>②③④⑤⑥⑦⑧⑨</sup>)。

高等植物の雄性配偶体は、細胞組織の深部に存在し、またわずかな時間で刻々とオルガネラ形態が変化する動的な存在である。このことから、花粉形成に寄与する様々なオルガネラ分化の詳細な構造変化を示すことは、公的にも有用といえる。そこで、まず野生型シロイヌナズナを材料に、葯全体にわたるオルガネラマップを作成することにした。

葯の内部は何層にも渡って細胞が入り組んでいるため、深部までよい固定像を得ることはこれまで難しかった。物理的な加圧方式で化学固定を行ったところ、良好な透過電子顕微鏡画像を得ることができた。この固定試料を用いて、葯全体にわたる広域 TEM 像を

取得した。図1に示した画像は、5,600枚の電顕画像を全自動撮影し、全て結合した画像である。どの領域を拡大しても、抜けのない葯の全オルガネラ情報を得ることができた。

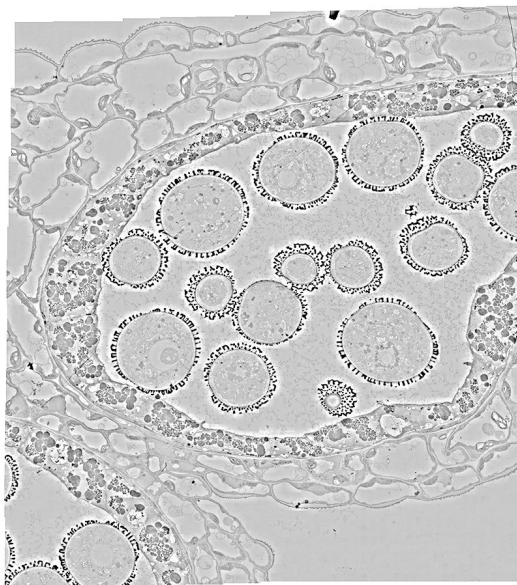


図1 広域TEM画像(シロイヌナズナ葯)

##### (2)広域TEM画像からの画像分類法の確立と統計学的処理

広域画像から自動でオルガネラを認識・分類する技術の開発に成功した(雑誌論文、学会発表<sup>⑩</sup>)。TEM画像から意味のある電子情報を取り出すための技術が必要である。そこで、Image Jを用いた画像処理により、オルガネラの形などを統計学的に数値化する試みも行い、統計学的データを取得することを可能にした(学会発表<sup>⑪</sup>)。

##### (3)シロイヌナズナ脂質関連遺伝子欠損変異体の観察

メバロン酸経路及び非メバロン酸経路に関連した脂質関連突然変異体を中心に TEM 観察を行った。具体的には、*hmg1* 変異体、*ipilipi2* 二重変異体、*cla1* 変異体、*cer1* 変異体等である。その結果、*hmg1* と *ipilipi2* 二重変異体において、葯タペタムのエライオプラスト(色素体)における形態異常を確認することができた。一方で *cla1* 変異体では異常は見られなかった。このことは、通常はサイトソルで作られるステロールが、葯タペタムでは色素体に存在することを示唆するものであり、興味深い結果といえる(学会発表<sup>⑫</sup>)。

また、色素体の糖脂質関連変異体の解析も進めており、暗所芽生えの色素体に形態異常が生じるという新知見を得つつある(学会発表<sup>⑬</sup>)。今後は、この変異体における葯の観察も進めていきたい。

##### (4)網羅的3次元画像取得のための連続切片SEM観察法の改良

連続切片 SEM 法は、観察の際にグリッド

を使用せずカバーガラスなどの比較的大きい基板で切片を回収できる。これにより、一度に多くの切片を観察・撮影することが可能であるが、一方で大量の切片を回収することは難しかった。そこで、より簡便な3次元構築のため、SEM用連続切片の作成・回収方法の検討を行った。その結果、抜けのない3次元画像を得ることに成功した(学会発表)。今後は、この3次元取得法も併用しながら、さらに葯の精密なオルガネラマップを作成していく予定である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計13件)

Kobayashi K, Kobayashi K, Yamaguchi H, Inoue YM, Takagi K, Fushihara K, Seki H, Suzuki M, Nagata N, Muranaka T: Platform for “Chemical Metabolic Switching” to increase sesquiterpene content in plants. *Plant Biotechnology*, 34, 65-69, DOI: 10.5511/plantbiotechnology.17.0114a, (2017) 「査読あり」

Akita K, Kobayashi M, Sato M, Kutsuna N, Ueda T, Toyooka K, Nagata N, Hasezawa S, Higaki T: Cell wall accumulation of fluorescent proteins derived from a trans-Golgi cisternal membrane marker and paramural bodies in interdigitated *Arabidopsis* leaf epidermal cells. *Protoplasma*, 254, 367-377, DOI 10.1007/s00709-016-0955-1, (2017) 「査読あり」

Okubo-Kurihara E, Ohtani M, Kurihara Y, Kakegawa K, Kobayashi M, Nagata N, Komatsu T, Kikuchi J, Cutler S, Demura T, Matsui M: Modification of plant cell wall structure accompanied by enhancement of saccharification efficiency using a chemical, lasalocid sodium. *Scientific Reports*, 6, 34602, doi:10.1038/srep34602, (2016) 「査読あり」

Kuroiwa T, Ohnuma M, Imoto Y, Misumi O, Nagata N, Miyakawa I, Fujishima M, Yagisawa F, Kuroiwa H: Genome Size of the Ultrasmall Unicellular Freshwater Green Alga, *Medakamo hakoo* 311, as Determined by Staining with 4',6-diamidino-2-phenylindole after Microwave Oven Treatments: II. Comparison with *Cyanidioschyzon merolae*, *Saccharomyces cerevisiae* (n, 2n), and *Chlorella variabilis*. *Cytologia*, 81(1), 69-76, Doi: 10.1508/cytologia.81.69, (2016) 「査読あり」

Suzuki M, Takahashi S, Kondo T, Dohra H, Ito Y, Kiriwa Y, Hayashi M, Kamiya S, Kato M, Fujiwara M, Fukao Y, Kobayashi M, Nagata N, Motohashi R: Plastid Proteomic Analysis in Tomato Fruit Development. *PLOS ONE*, Sep15;10(9), e0137266, doi: 10.1371/journal.pone.0137266, eCollection,

(2015) 「査読あり」

Higaki T, Kutsuna N, Akita K, Sato M, Wakazaki M, Goto Y, Sawaki F, Kobayashi M, Nagata N, Toyooka K, Hasezawa S: Semi-automatic organelle detection on transmission electron microscopic images. *Scientific Reports*, 5, 7794, 1-9, Doi: 10.1038/srep07794, (2015) 「査読あり」

Higaki T, Kato A, Myouga F, Kutsuna N, Hasezawa S, Nagata N: Automatic classification of chloroplast ultrastructure mutants with transmission electron microscopy. *Bioimages*, 22, 1-7, (2014) 「査読あり」

Toyooka K, Sato M, Kutsuna N, Higaki T, Sawaki F, Wakazaki M, Goto Y, Hasezawa S, Nagata N, Matsuoka K: Wide-range High-Resolution Transmission Electron Microscopy Reveals Morphological and Distributional Changes of Endomembrane Compartments during Log-to-Stationary Transition of Growth Phase in Tobacco BY-2 Cells. *Plant Cell Physiology*, 55(9), 1544-1555, doi:10.1093/pcp/pcu084, (2014) 「査読あり」

Satou M, Enoki H, Oikawa A, Ohta D, Saito K, Hachiya T, Sakakibara H, Kusano M, Fukushima A, Saito K, Kobayashi M, Nagata N, Myouga F, Shinozaki K, Motohashi R: Integrated analysis of transcriptome and metabolome of *Arabidopsis albino or pale green* mutants with disrupted nuclear-encoded chloroplast proteins. *Plant Molecular Biology*, 85, 411-428, Doi: 10.1007/s11103-014-0194-9, (2014) 「査読あり」

豊岡公德、佐藤繭子、朽名夏磨、永田典子: 高圧凍結技法を取り入れた広域透過電顕像自動取得システムの開発とその応用. *Plant Morphology*, 26, p3-8, (2014)

Tanoue R, Kobayashi M, Katayama K, Nagata N, Wada H: Phosphatidylglycerol biosynthesis is required for the development of embryos and normal membrane structures of chloroplasts and mitochondria in *Arabidopsis*. *FEBS letters*, 588(9), 1680-1685, http://dx.doi.org/10.1016/j.febslet.2014.03.010, (2014) 「査読あり」

Kurusu T, Koyano T, Hanamata S, Kubo T, Noguchi Y, Yagi C, Nagata N, Yamamoto T, Ohnishi T, Okazaki Y, Kitahata N, Ando D, Ishikawa M, Wada S, Miyao A, Hirochika H, Shimada H, Makino A, Saito K, Ishida H, Kinoshita T, Kurata N, Kuchitsu K: OsATG7 is required for autophagy-dependent lipid metabolism in rice postmeiotic anther development. *Autophagy*, 10(5), 1-11, (2014) 「査読あり」

Duan Z, Homma A, Kobayashi M, Nagata N, Kaneko Y, Fujiki Y, Nishida I: Photoassimilation, assimilate translocation and plasmodesmal biogenesis in the source leaves of *Arabidopsis thaliana* grown under an

increased atmospheric CO<sub>2</sub> concentration. *Plant Cell Physiology*, 55(2), 358-369, doi:10.1093/pcp/pcu004, (2014) 「査読あり」

[学会発表](計 29 件)

加藤翔太,高市真一,石川孝博,永田典子,朝比奈雅志,篠村知子: 強光が微細藻類ユグレナの光合成色素含量に及ぼす影響. 宇都宮大学 オプト-バイオシンポジウム, 栃木, 2017年12月2日

加瀬大地,加藤翔太,湯本絵美,横田孝雄,山根久和,石川孝博,永田典子,篠村知子: 微細藻類 *Euglena gracilis* におけるジャスモン酸合成系遺伝子の探索および発現解析. 宇都宮大学 オプト-バイオシンポジウム, 栃木, 2017年12月2日

Kato S, Soshino M, Takaichi S, Ishikawa T, Nagata N, Asahina M, Shinomura T: Light stress alters carotenoid content and intracellular structure of *Euglena gracilis*. 18th International Symposium on Carotenoids, Lucerne Switzerland, July 9-14, 2017

Miyamoto N, Iwazaki R, Kato S, Kodama Y, Nagata N, Asahina M, Shinomura T: Light-regulation of asexual reproduction in *Pediastrum duplex*. 日本植物生理学会年会第58回大会, 鹿児島, 2017年3月16-18日

Fujii S, Kobayashi K, Kobayashi M, Nagata N, Masuda T, Wada H: Role of galactolipids in etioplast biogenesis and protochlorophyllide synthesis of *Arabidopsis*. 日本植物生理学会年会第58回大会, 鹿児島, 2017年3月16-18日

藤井祥,小林康一,中村友輝,小林恵,永田典子,増田建,和田元: 脂質合成の人工制御により明らかとなった植物の色素体発達におけるガラクト脂質の役割. 第29回植物脂質シンポジウム, 大阪, 2016年11月25日-26日

小林啓子,鈴木英理子,青山留美,飯泉まどか,鈴木優志,村中俊哉,永田典子: シロイヌナズナのタペータム及びポーレンコート形成における脂質の機能. 第29回植物脂質シンポジウム, 大阪, 2016年11月25日-26日

加藤翔太,高市真一,石川孝博,永田典子,朝比奈雅志,高橋宣治,篠村知子: 光ストレス下における微細藻類 *Euglena gracilis* のカロテノイド組成と葉緑体構造の解析. 日本植物学会第80回大会, 沖縄, 2016年9月16-19日

小林恵,本橋令子,坂智広,豊岡公德,永田典子: トウガラシとトマト果実における色素体内部構造の比較解析. 日本植物学会第80回大会, 沖縄, 2016年9月16-19日

本多珠巳,加藤綾,桧垣匠,明賀史純,篠崎一雄,永田典子: 葉緑体突然変異体群におけるチラコイド膜構造とクロロフィルの相関性解析. 日本植物学会第80回大会, 沖縄, 2016年9月16-19日

黒岩常祥,黒岩晴子,永田典子,三角修己,田草川真理,井元祐太,八木沢英美,乾弥生,松永幸大: 紅藻シゾンと極小緑藻メダカモから真核細胞の誕生・増殖の基本原理を探る.

第80回日本植物学会大会, 沖縄, 2016年9月16日-19日

Hamasaki H, Kurihara Y, Kuromori T, Kobayashi M, Kusano H, Imura Y, Nagata N, Shimada H, Yamamoto YY, Matsui M: SnRK1 kinase and the NAC transcription factor SOG1 are components of a mitochondrial retrograde signaling pathway mediating the low energy response triggered by low ATP levels. 第13回国際細胞共生学会 (ICES 2016 Kyoto), 京都, 2016年9月10-14日

藤井祥,小林康一,小林恵,永田典子,増田建,和田元: モノガラクトシルジアシルグリセロール (MGDG) の合成は黄化芽生えにおけるプロトクロロフィリドの合成や蓄積に必要である. 第7回日本光合成学会年会, 滋賀, 2016年5月27-28日

盛一伸子,永田典子,今市涼子: TEMで広域の微細形態情報を網羅する—シダ植物大葉類の根端分裂組織の原形質連絡ネットワーク—. 医学生物学電顕技術学会第32回学術講演会, 東京, 2016年5月20-22日

Hashimoto K, Narikawa N, Wakazaki M, Sato M, Nagata N, Okamoto T, Toyooka K: Gigapixel TEM image analysis showing involvement of ER body in the lateral root cap in mass transport of (K/H)DEL-tailed proteins to the vacuole. 第57回植物生理学会年会, 岩手, 2016年3月18-20日

Toyooka K, Hashimoto K, Narikawa N, Wakazaki M, Sato M, Nagata N, Okamoto T: The ER body in the lateral root cap is involved in mass transport of (K/H)DEL proteins to the vacuole Using Gigapixel TEM images. The 2<sup>nd</sup> East-Asia Microscopy Conferende (EAMC2), Himeji, November 24-27, 2015

楠瀬祥子,小林恵,澤木史江,佐藤繭子,桧垣匠,朽名夏磨,豊岡公德,永田典子: 暗所発芽シロイヌナズナ子葉におけるエチオプラストから葉緑体に至る色素体形態について. 植物電子顕微鏡ワークショップ, 神奈川, 2015年9月25日

澤木史江,小林恵,盛一伸子,佐藤繭子,朽名夏磨,豊岡公德,永田典子: 広域TEM像取得法を用いたシロイヌナズナ茎頂における温度ストレスに対するオルガネラ変化の解析. 植物電子顕微鏡ワークショップ, 神奈川, 2015年9月25日

Toyooka K, Sato M, Wakazaki M, Hashimoto K, Kobayashi M, Sawaki F, Kutsuna N, Nagata N: Construction of an *Arabidopsis* Electron Microscopy Atlas. 26<sup>th</sup> International Conference on *Arabidopsis* Research (ICAR), Paris, France, July 5-9, 2015

豊岡公德,佐藤繭子,若崎真由美,朽名夏磨,永田典子,松岡健: シロイヌナズナ電顕アトラス」の構築. 日本顕微鏡学会第71回学術講演会, 京都, 2015年5月13-15日

② 豊岡公德,佐藤繭子,若崎真由美,朽名夏磨,永田典子,松岡健: 対数増殖期および定常状態

期におけるタバコ培養細胞内オルガネラの超微形態変化. 第56回日本植物生理学会年会, 東京, 2015年3月16-18日

②栗原 (大窪) 恵美子, 栗原志夫, 大谷美沙都, 朽名夏磨, 永田典子, 小林恵, 小松功典, 菊地淳, 掛川弘一, Ong WenDee, 松井南: Chemical phenomics for biomass engineering. 第56回日本植物生理学会年会, 東京, 2015年3月16-18日 (シンポジウム「Green Chemical Biology」)

③Nagata N, Kato A, Sawaki F, Kobayashi M, Sato M, Higaki T, Kutsuna N, Hasezawa S, Myouga F, Toyooka K: Challenge to Organellomics by the Transmission Electron Microscopy. The 2<sup>nd</sup> International Symposium on Plant Environmental Sensing, Tokyo, March 13-15, 2015 (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

④永田典子: 植物TEM試料作製法の具体的事例とオミクス研究への展開. 第14回医学生物学電子顕微鏡シンポジウム, 幕張, 2014年12月20日 (シンポジウム招待講演)

⑤渡邊絵梨, 清水麻里, 小澤あつみ, 永田典子, 今井元: スペクトル測定によるシロイヌナズナの育成評価 III. 園芸学会平成26年度春季大会, 茨城, 2014年9月27-29日

⑥栗原 (大窪) 恵美子, 栗原志夫, 大谷美沙都, 小林恵, 永田典子, 小松功典, 菊地淳, 掛川弘一, 出村拓, 松井南: 細胞壁を変性させる低分子化合物の同定・解析. 日本植物学会第78回大会, 神奈川, 2014年9月12-14日

⑦豊岡公德, 佐藤繭子, 若崎真由美, 朽名夏磨, 永田典子, 松岡健: 広域TEM像取得システムを用いたタバコ培養細胞のオルガネラ定量解析. 日本植物形態学会第26回大会, 神奈川, 2014年9月11日

⑧桧垣匠, 加藤綾, 明賀史純, 朽名夏磨, 馳澤盛一郎, 永田典子: 透過型電子顕微鏡画像に基づく葉緑体微細構造異常の自動分類 (Automatic classification of chloroplast ultrastructure mutants with transmission electron microscopy). 第23回バイオイメージング学会, 大阪, 2014年9月4-6日

⑨豊岡公德, 佐藤繭子, 朽名夏磨, 若崎真由美, 澤木史江, 桧垣匠, 馳澤盛一郎, 永田典子, 松岡健: 広域TEM像取得システムと高圧凍結技法を用いた細胞内輸送系膜区画の超微形態解析. 日本顕微鏡学会第70回記念学術講演会, 千葉, 2014年5月11-13日

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

永田 典子 (NAGATA, Noriko)  
日本女子大学・理学部・教授  
研究者番号: 40311352

### (2)研究分担者

なし

### (3)連携研究者

なし

### (4)研究協力者

小林 恵 (KOBAYASHI, Megumi)  
本多 珠美 (HONDA, Tamami)  
澤木 史江 (SAWAKI, Fumie)