

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03757

研究課題名(和文) C4光合成細胞におけるオルガネラの三次元配置とその配置形成機構の解明

研究課題名(英文) Study on three-dimensional arrangement of organelles in C4 photosynthetic cells and its arrangement formation mechanism

研究代表者

谷口 光隆 (TANIGUCHI, Mitsutaka)

名古屋大学・生命農学研究科・教授

研究者番号：40231419

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,300,000円

研究成果の概要(和文)：C4植物の2種の光合成細胞である葉肉細胞と維管束鞘細胞内のオルガネラ配置は異なっており、代謝経路と密接に関わっている。本研究では、このオルガネラ配置の分子機構と生理的意義の解明を目的として研究を行い、以下の成果を得た。(1)イネ科植物の維管束鞘細胞内の葉緑体の配置と形状を三次元的に理解できるようになった。(2)凝集運動に伴う葉肉葉緑体の細胞内配置と形態の三次元的な変化を明らかにした。(3)C4植物の進化過程のどの段階で葉肉葉緑体の凝集運動が獲得されたかを明らかにした。(4)NAD-ME型C4植物の維管束鞘葉緑体におけるRubiscoとデンプンの対極的な偏在を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、C4光合成の基盤となるオルガネラ配置の実態が明らかになってきた。本研究では、今まで我々が取り組んできたC4植物の細胞特異的オルガネラ配置・運動を対象とした解析を行い、光合成細胞におけるオルガネラ配置の分子機構と生理的意義の解明を目指す。本研究を達成することで、代謝機能を支えるオルガネラ配置機構の解明といった作物生理学への貢献と、光合成機能やストレス耐性機能を向上させて作物生産能を改良するための分子基盤を提供できると考えている。

研究成果の概要(英文)：The organelle arrangement is different between mesophyll and bundle sheath cells, which are two types of photosynthetic cells of C4 plants, and is closely related to metabolic pathways. In this study, we aimed to elucidate the molecular mechanism and physiological significance of the organelle arrangement, and obtained the following results. (1)The intracellular arrangement and shape of bundle sheath chloroplasts in gramineous plants were three-dimensionally understood. (2)The three-dimensional changes in the intracellular arrangement and morphology of the mesophyll chloroplasts were revealed. (3)The acquisition step of the aggregation movement of mesophyll chloroplasts during the evolution of C4 plants was clarified. (4)The opposite distribution of Rubisco and starch granule was revealed in the bundle sheath chloroplasts of NAD-ME type C4 plants.

研究分野：作物生理生化学

キーワード：C4光合成 葉緑体 ミトコンドリア C4植物 オルガネラ 顕微鏡 Rubisco デンプン

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

C<sub>4</sub>植物の葉組織は、維管束の周りを維管束鞘細胞が取り囲み、さらにその外側を1層の葉肉細胞が放射状に取り巻くクランツ構造をもつ。その両光合成細胞を一巡するC<sub>4</sub>回路がCO<sub>2</sub>濃縮ポンプとして働き、維管束鞘葉緑体に局在するRubisco (ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase) 近傍のCO<sub>2</sub>濃度を高めることで、C<sub>4</sub>植物は高い光合成能と環境ストレス耐性を獲得している。隣り合う葉肉細胞と維管束鞘細胞は構造および機能の面で様々に分化しており、細胞内のオルガネラ配置も異なる。すなわち、葉肉細胞において、葉緑体は細胞周縁部に散在し、なるべく相互に重なり合わないことで光受容とC<sub>4</sub>回路における葉緑体内外の物質移動の促進を図っている。我々は、強光、乾燥、塩などの環境ストレスに応答して葉肉葉緑体が維管束鞘細胞側に凝集することを見出し、この葉緑体凝集運動は光合成代謝と連動した生理的役割を担うと考えたり。さらに、凝集運動は青色光とアブシジン酸 (ABA) により誘発されることを見出し、環境ストレスを感知すると葉細胞内のABA含量が増大して葉緑体凝集運動が誘発されると推察した<sup>2)</sup>。また、葉緑体凝集運動はC<sub>4</sub>植物の葉肉細胞でのみ起こり、維管束鞘細胞やC<sub>3</sub>植物においては見られないことから、特別な葉緑体配置・運動制御機構が存在することが考えられた。

C<sub>4</sub>植物の維管束鞘細胞においては、葉緑体やミトコンドリアが発達するとともに数が増大し、特徴的な細胞内配置が見られる。すなわち、維管束鞘葉緑体が葉肉細胞側に配置 (遠心的配置) する種と維管束側に配置 (求心的配置) する種に分けられ、C<sub>4</sub>光合成の3種のサブタイプと関連付けられている。維管束鞘葉緑体が遠心的に配置するC<sub>4</sub>植物種では、維管束鞘細胞と葉肉細胞の間の細胞壁にスペリン層が発達し、脱炭酸反応で生じたCO<sub>2</sub>が維管束鞘細胞から漏出するのを防ぐ構造を具備している。維管束鞘葉緑体が求心的配置を示す種はNAD-マリックエンザイム (ME) 型C<sub>4</sub>植物に多いが、NAD-ME型C<sub>4</sub>回路では維管束鞘ミトコンドリアが脱炭酸反応の場であり、ミトコンドリアと葉緑体が維管束鞘細胞の内側 (維管束側) で近接して分布することで、脱炭酸反応で生じたCO<sub>2</sub>を効率的に葉緑体で再固定していると推察されている。このような細胞特異的なオルガネラ配置はC<sub>3</sub>植物からC<sub>4</sub>植物への進化過程のごく初期から始まったと考えられている。すなわち、C<sub>4</sub>植物進化の初期段階において維管束鞘細胞のミトコンドリアが大型化・増大するとともに求心的配置をとり、次いで光呼吸でのCO<sub>2</sub>放出反応が維管束鞘ミトコンドリアでのみ起こるようになった後、局所的に発生したCO<sub>2</sub>に応答して維管束鞘葉緑体の求心的配置が起こったと考えられている<sup>3)</sup>。

## 2. 研究の目的

上記のように、C<sub>4</sub>光合成の基盤となるオルガネラ配置の実態が明らかになってきた。本研究では、今まで我々が取り組んできたC<sub>4</sub>植物の細胞特異的なオルガネラ配置・運動を対象とした以下の解析を行い、光合成細胞におけるオルガネラ配置の分子機構と生理的意義の解明を目指す。本研究を達成することで、代謝機能を支えるオルガネラ配置機構の解明といった作物生理学への貢献と、光合成機能やストレス耐性機能を向上させて作物生産能を改良するための分子基盤を提供していきたい。

(1) C<sub>4</sub>光合成細胞内のオルガネラの立体配置を調べ、オルガネラ間の相互作用を明らかにする。我々は、連続切片の電子顕微鏡画像を用いた細胞内微細構造の高精細な三次元再構築手法を確立している。この手法を用いて、二次元の電顕画像のみでは把握できなかったダイナミックな細胞内配置 (維管束鞘細胞内のオルガネラ配置、葉緑体とミトコンドリア間の相互作用) を理解する。

(2) 凝集運動に伴い葉肉葉緑体が細胞内でどのように配置されるかを立体的に明らかにするため、簡易な染色のみを行った横断切片から葉肉葉緑体の細胞内配置や形態を三次元的に観察できる手法を考案する。

(3) C<sub>4</sub>植物の進化過程のどの段階で葉肉葉緑体の凝集運動が獲得されたかを明らかにし、凝集運動の生理的役割解明のための足掛かりを得る。

(4) NAD-ME型C<sub>4</sub>植物の維管束鞘細胞において、葉緑体とミトコンドリアの細胞内局在や相互作用が光合成代謝駆動にとって非常に重要だと考えられるが、その分子機構は明らかになっていない。両オルガネラの密着と連動して葉緑体内の代謝の分業や偏在が起こっているかを調べ、構造と機能の結び付きを解明する。

## 3. 研究の方法

(1) イネ科植物における維管束鞘葉緑体の細胞内配置と形状の三次元解析

イネ科植物であるイネ (*Oryza sativa*, C<sub>3</sub>植物)、ローズグラス (*Chloris gayana*, PCK型C<sub>4</sub>植物)、シコクビエ (*Eleusine coracana*, NAD-ME型C<sub>4</sub>植物) を人工気象室内で2~4週間生育させ、その最上位展開葉の葉身中央から試料を切り出し、化学固定・脱水・樹脂包埋した。包埋試料をウルトラミクロトームで連続切片 (100 nm厚, 400~500枚) にし、支持膜を張った単孔グリッドに載せて透過型電子顕微鏡 (TEM) で各切片を撮影し、画像処理ソフトウェアを用いて維管束鞘細胞の細胞膜、葉緑体、ミトコンドリアを三次元再構築した。

(2) C<sub>4</sub>植物葉肉葉緑体の凝集運動に伴う細胞内配置と形態の三次元解析

エノコログサ (*Setaria viridis*, NADP-ME型C<sub>4</sub>植物) を人工気象室内にて約3週間生育させ

た。止葉の葉身中央部から得た葉片を 100  $\mu\text{M}$  アブシジン酸溶液中で青色 LED 光 ( $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) を 8 時間照射し、凝集運動を誘導した。横断切片の細胞壁をカルコフローによって染色し、共焦点レーザー顕微鏡で観察した。クロロフィル自家蛍光は LD559 で励起し、赤色蛍光 (650-750 nm) を取得した。カルコフロー蛍光は 405 nm レーザーで励起し、青色蛍光 (425-525 nm) を取得した。向軸側の葉肉細胞について、取得したクロロフィル自家蛍光像の二値化画像を作成し、個々に区別できる葉緑体を塗り分けた。また、カルコフロー蛍光をトレースし、細胞質の範囲を示す画像を作成した。以上の処理を行った連続画像を画像処理ソフトウェアで合成した。

### (3) $\text{C}_3$ 植物から $\text{C}_4$ 植物への進化にともなう葉肉葉緑体凝集運動の獲得過程の解析

双子葉キク科 *Flaveria* 属の  $\text{C}_3$  種、 $\text{C}_3$ - $\text{C}_4$  中間種、 $\text{C}_4$  種を人工気象室内で約 6 週間生育させた。最上位完全展開葉を水中に沈め、青色 LED 光を向軸側から照射し、凝集運動を誘導した。葉横断切片を作製後、細胞壁をカルコフローで染色し、共焦点レーザー顕微鏡で観察した。観察画像から葉肉葉緑体が維管束鞘細胞側にどの程度局在しているかを示す“凝集配置指数”<sup>2)</sup>を算出した。

### (4) NAD-ME 型 $\text{C}_4$ 植物の維管束鞘葉緑体における Rubisco とデンブンの対極的な偏在の解析

シコクビエを人工気象室内にて約 3 週間栽培した。最上位展開葉の葉身中央部を高圧凍結固定し、金コロイド免疫透過型電子顕微鏡法によって Rubisco, SBPase (sedoheptulose-1,7-bisphosphatase), AGPase (ADP-glucose pyrophosphorylase) の各タンパク質を検出した。また、葉身のデンブンの分布を TEM で観察した。

## 4. 研究成果

### (1) イネ科植物における維管束鞘葉緑体の細胞内配置と形状の三次元解析

イネ維管束鞘細胞には葉肉細胞よりも多い葉緑体が存在し、大部分は葉肉細胞側に配置 (遠心的配置) していた (図 1)。葉緑体近傍に存在するミトコンドリアとともに、多くのミトコンドリアが維管束側に単独で存在していることが判明した。ローズグラスでは、より大型の平板状葉緑体が葉肉細胞側の細胞面を覆い尽くすように遠心的配置をとり、ミトコンドリアは葉緑体近傍の細胞内側 (液胞側) に局在していた。一方、シコクビエにおいては、数は少ないがさらに大型でシート状の葉緑体が、葉緑体の一端を維管束側細胞面に接するように密集配置していた。また、多数のミトコンドリアが葉緑体の基部側 (維管束側) で接触しており、積極的なオルガネラ配置機構の存在が予想された。このようにオルガネラ配置の三次元解析により、1 細胞内の葉緑体やミトコンドリアの配置や体積を二次元の断面観察よりも正確に把握することが可能となり、ダイナミックな細胞内微細構造の全貌が明らかになった。

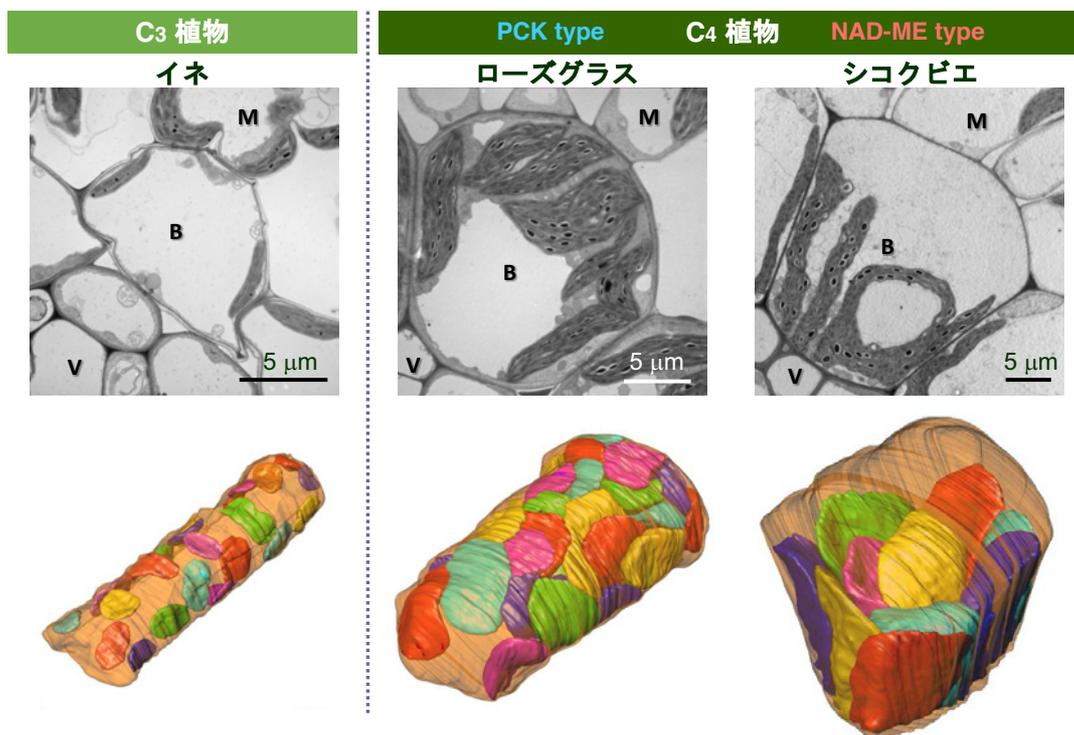


図1 イネ, ローズグラス, シコクビエの電子顕微鏡像(上段), および維管束鞘細胞と葉緑体の三次元再構築像(下段) B: 維管束鞘細胞, M: 葉肉細胞, V: 維管束

## (2) C<sub>4</sub>植物葉肉葉緑体の凝集運動に伴う細胞内配置と形態の三次元解析

焦点面をずらしながら高解像度撮影することができる共焦点レーザー顕微鏡と、連続画像を合成する画像処理ソフトウェアを用い、葉肉細胞および内部の葉緑体を三次元再構築し、凝集運動に伴う葉緑体の配置や形態の変化を調べる解析法を確立した。連続画像の合成により、葉肉細胞内の葉緑体の配置や形態を三次元再構築できた(図2)。青色光照射前は細胞周縁に散在していた葉緑体が、照射後では凝集運動を起こして維管束鞘細胞側の細胞壁に接するように配置するとともに、一部の葉緑体は逃避運動を起こしている三次元再構築像が得られた。青色光照射前の葉緑体はソラマメ状の丸い形をしていたが、照射後に逃避または凝集運動を起こした葉緑体は細胞膜に沿って平たく延びているように見えた。個々の葉緑体の体積や表面積を算出し、青色光照射前後で比較したが、顕著な差異は見い出せなかった。しかし、このような形態の違いは、凝集運動時に細胞膜に接する面積を増やして物質交換の効率化を図っている可能性が考えられた。

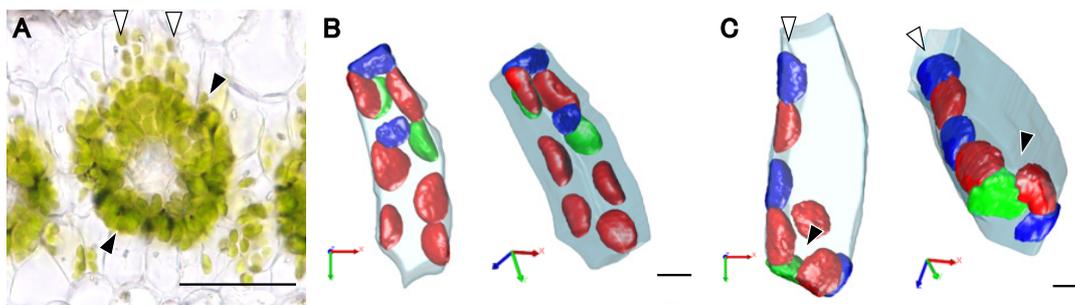


図2 (A) ABAと青色光で誘導した葉肉葉緑体の凝集運動(▲)。一部は逃避運動も起こっている(△)。Bar = 50 μm。(B) 葉肉細胞と葉緑体の三次元再構築像(青色光照射前)。下方が維管束鞘細胞側。右図は左図の再構築像の表示方向を変更したもの。(C) 青色光照射後。Bars = 5 μm。

## (3) C<sub>3</sub>植物からC<sub>4</sub>植物への進化にともなう葉肉葉緑体凝集運動の獲得過程の解析

C<sub>4</sub>植物はC<sub>3</sub>植物から段階的に進化したと考えられており、その進化段階はC<sub>3</sub>種 → proto-Kranz種 → C<sub>2</sub>種 → C<sub>4</sub>様種 → C<sub>4</sub>種の順である。そこで、幾つかのC<sub>3</sub>-C<sub>4</sub>中間種を用いて葉肉葉緑体凝集運動がC<sub>4</sub>植物進化のどの段階で獲得されたかを調べた。C<sub>4</sub>種である*F. bidentis*の葉を水に沈めて青色光照射すると、4時間後まで凝集配置指数が増加したが、その後16時間目まで徐々に指数は低下した。そこで、8種の*Flaveria*属植物について葉の水没+青色光照射処理を4時間行ったところ、C<sub>4</sub>種*F. bidentis*と*F. trinervia*、C<sub>4</sub>様種*F. palmeri*において明白な凝集運動が確認された。一方、C<sub>4</sub>様種*F. brownii*、C<sub>2</sub>種、proto-Kranz種において凝集運動は確認されなかった。以前に*Flaveria*属植物の光合成特性や細胞内構造について比較解析されており、二つのC<sub>4</sub>様種*F. palmeri*と*F. brownii*はC<sub>4</sub>種に近いCO<sub>2</sub>補償点とC<sub>4</sub>化合物への初期炭素固定が見られるが、*F. palmeri*の葉肉細胞は*F. brownii*に比べてより大型で少数の葉緑体をもつといったC<sub>4</sub>種により近い構造的特徴が報告されている<sup>4)</sup>。以上のことから、葉肉葉緑体凝集運動の機構は、C<sub>3</sub>植物からC<sub>4</sub>植物への進化の後期段階(葉肉細胞と維管束鞘細胞間のC<sub>4</sub>回路が獲得された一方、Rubiscoの維管束鞘細胞局在化はまだである段階)で獲得され、葉肉葉緑体のサイズや個数などとも関連性があると考えられた。

## (4) NAD-ME型C<sub>4</sub>植物の維管束鞘葉緑体におけるRubiscoとデンブンの対極的な偏在の解析

NAD-ME型C<sub>4</sub>植物シコクビエでは、ミトコンドリアと葉緑体が維管束鞘細胞内の内側(維管束側)で近接配置しており、ミトコンドリアの脱炭酸反応で生じたCO<sub>2</sub>を葉緑体内のRubiscoで迅速に再固定するために都合が良い。このオルガネラの局在化と葉緑体内代謝の関連性を調べた。免疫染色後のTEM観察像において維管束鞘葉緑体を5つの領域(基部側[維管束側]～先端側[葉肉細胞側])に分割し、各領域の金粒子密度を算出した。Rubiscoは基部側の領域において有意に高い分布を示した一方、カルビン回路酵素SBPaseとデンブンプ合成経路酵素AGPaseは、5つの領域で有意な差がみられなかった。維管束鞘葉緑体内のデンブンプ粒は基部側よりも先端側の領域で頻りに観察された。これらのことから、CO<sub>2</sub>固定とデンブンプ粒蓄積は葉緑体内で偏って機能している一方、その間の代謝反応は葉緑体内で一様に機能していると考えられた。維管束鞘細胞内の維管束側に局在するミトコンドリアの脱炭酸反応により、供給されるCO<sub>2</sub>は葉緑体の基部側で高濃度になると考えられる。したがって、Rubiscoを基部側に偏在させることは、CO<sub>2</sub>固定をより効率的に行うために都合が良いと考えられる。また、生成したデンブンプ粒を主に先端側に蓄積することで基部側でのストロマ領域を確保し、CO<sub>2</sub>固定の阻害を防いでいると考えられる。維管束鞘細胞におけるRubiscoの偏在は、同じNAD-ME型C<sub>4</sub>植物であるキビ(*Panicum miliaceum*)やクライングラス(*Panicum coloratum*)においても確認している。

<引用文献>

1. Yamada M., Kawasaki M., Sugiyama T., Miyake H. and Taniguchi M. (2009) Differential positioning of C<sub>4</sub> mesophyll and bundle sheath chloroplasts: Aggregative movement of C<sub>4</sub> mesophyll chloroplasts in response to environmental stresses. *Plant Cell Physiol* 50: 1736-1749.
2. Maai E., Shimada S., Yamada M., Sugiyama T., Miyake H. and Taniguchi M. (2011) The avoidance and aggregative movements of mesophyll chloroplasts in C<sub>4</sub> monocots in response to blue light and abscisic acid. *J Exp Bot* 62: 3213-3221.
3. Sage R.F., Khoshravesh R. and Sage T.L. (2014) From proto-Kranz to C<sub>4</sub> Kranz: building the bridge to C<sub>4</sub> photosynthesis. *J Exp Bot* 65: 3341-3356.
4. Stata M., Sage T.L., Hoffmann N., Covshoff S., Ka-Shu Wong, G. and Sage, R.F. (2016) Mesophyll chloroplast investment in C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> and C<sub>2</sub> species of the genus *Flaveria*. *Plant Cell Physiol* 57: 904-918.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Oi T., Enomoto S., Nakao T., Arai S., Yamane K., Taniguchi M.	4. 巻 125(5)
2. 論文標題 Three-dimensional ultrastructural change of chloroplasts in rice mesophyll cells responding to salt stress.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Annals of Botany	6. 最初と最後の頁 833-840
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/aob/mcz192	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Ouk R., Oi T., Taniguchi M.	4. 巻 23(2)
2. 論文標題 Three-dimensional anatomy of mesophyll cells in rice leaf tissue by serial section light microscopy.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant Production Science	6. 最初と最後の頁 149-159
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/1343943X.2019.1702470	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yamane K., Oi T., Taniguchi M.	4. 巻 23(2)
2. 論文標題 Three-dimensional analysis of chloroplast protrusion formed under osmotic stress by polyethylene glycol in rice leaves.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant Production Science	6. 最初と最後の頁 160-171
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/1343943X.2019.1709513	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yamane K., Oi T., Enomoto S., Nakao T., Arai S., Miyake H., Taniguchi M.	4. 巻 41
2. 論文標題 Three-dimensional ultrastructure of chloroplast pockets formed under salinity stress	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant, Cell & Environment	6. 最初と最後の頁 563~575
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/pce.13115	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計26件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 千田啓貴, 大井崇生, 厚沢季美江, 金子康子, 谷口光隆.
2. 発表標題 C4植物の維管束鞘葉緑体内におけるRubiscoの偏在.
3. 学会等名 第10回日本光合成学会年会およびシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大井崇生, 谷口光隆, 榎本早希子, 中尾知代, 荒井重勇, 小田昌宏, 森健策, 山根浩二.
2. 発表標題 連続切片法による植物細胞の内部微細構造の三次元観察と3Dモデルによる立体像把握.
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大井崇生, 山根浩二, 谷口光隆.
2. 発表標題 連続切片法で広がる光学・電子顕微鏡観察の可能性: 葉組織・細胞の三次元解析の例. シンポジウム: 最先端可視化技術による植物解析~見る顕微鏡から捉える顕微鏡へ~.
3. 学会等名 日本植物学会第83回大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ouk R., Oi T., Taniguchi M.
2. 発表標題 Three-dimensional anatomy of the mesophyll cells at different positions in rice leaf tissue.
3. 学会等名 日本作物学会第248回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口光隆, 山村莉穂, 大井崇生.
2. 発表標題 C3植物からC4植物への進化にともなう葉肉葉緑体凝集運動の獲得.
3. 学会等名 日本作物学会第248回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千田啓貴, 大井崇生, 厚沢季美江, 金子康子, 谷口光隆.
2. 発表標題 C4植物シコクピエの維管束鞘細胞におけるオルガネラ膜接触部位の三次元観察の試み.
3. 学会等名 第10回植物電子顕微鏡若手ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菊谷里美, 大井崇生, 谷口光隆.
2. 発表標題 シコクピエ葉の葉肉葉緑体の凝集運動および維管束鞘葉緑体のデンプン蓄積の向背軸間における比較.
3. 学会等名 日本作物学会第249回講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 千田啓貴, 大井崇生, 桶川友季, 本橋健, 厚沢季美江, 金子康子, 谷口光隆.
2. 発表標題 NAD-ME型C4植物シコクピエの維管束鞘葉緑体におけるRubiscoとデンプンの対極的な偏在.
3. 学会等名 日本作物学会第249回講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 千田啓貴, 大井崇生, 厚沢季美江, 金子康子, 谷口光隆
2. 発表標題 加圧凍結置換 - 免疫TEM法を用いたC4植物維管束鞘葉緑体内のRubisco局在性の検討
3. 学会等名 第9回植物電子顕微鏡若手ワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大井崇生
2. 発表標題 組織・細胞レベルの三次元形態解析：イネ科葉組織における連続切片法とFIB-SEM法の例
3. 学会等名 第9回植物電子顕微鏡若手ワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Taniguchi M., Oi T., Yamane K.
2. 発表標題 Organelle positioning in C4 photosynthetic cells
3. 学会等名 第60回日本植物生理学会年会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千田啓貴, 大井崇生, 厚沢季美江, 金子康子, 谷口光隆
2. 発表標題 C4植物の維管束鞘葉緑体内におけるRubiscoの偏在
3. 学会等名 日本作物学会第247回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ouk R., Oi T., Taniguchi M.
2. 発表標題 Three-dimensional Anatomy of Mesophyll Cells in Rice under Salt-stress with a Light Microscope
3. 学会等名 日本作物学会第247回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木田久実子, 大井崇生, 谷口光隆
2. 発表標題 ヒ工 (Echinochloa esculenta) における2つのC4光合成回路の駆動と弱光に対する応答
3. 学会等名 日本作物学会第247回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山根浩二, 大井崇生, 谷口光隆
2. 発表標題 ストレスに伴う葉緑体形態変化の生理的意義
3. 学会等名 日本作物学会第247回講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大井崇生, 山根浩二, 谷口光隆
2. 発表標題 光合成細胞内オルガネラの立体配置
3. 学会等名 日本作物学会第247回講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大井崇生, 山根浩二, 谷口光隆
2. 発表標題 イネ科植物における維管束鞘葉緑体の細胞内配置と形状の三次元解析.
3. 学会等名 日本作物学会第245回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山川早紀, 大井崇生, 谷口光隆
2. 発表標題 C4植物葉肉葉緑体の凝集運動に伴う細胞内配置と形態の三次元解析.
3. 学会等名 日本作物学会第245回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤優太, 大井崇生, 谷口光隆
2. 発表標題 C4植物における低CO <sub>2</sub> 濃度により促進される葉肉葉緑体の凝集配置.
3. 学会等名 日本作物学会第245回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大瀧神奈, 大井崇生, 谷口光隆
2. 発表標題 トウモロコシの葉肉細胞と維管束鞘細胞における塩ストレスに応答した遺伝子発現の比較.
3. 学会等名 日本作物学会第245回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山川早紀, 大井崇生, 谷口光隆
2. 発表標題 C4植物葉肉葉緑体の凝集運動に伴う配置変化の三次元観察の試み.
3. 学会等名 第8回日本光合成学会年会およびシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大井崇生, 榎本早希子, 中尾知代, 荒井重勇, 山根浩二, 谷口光隆
2. 発表標題 イネ葉肉細胞の三次元構造解析: 塩ストレスに伴う葉緑体の形態変化.
3. 学会等名 第8回日本光合成学会年会およびシンポジウム
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Taniguchi M., Cousins A.B.	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 575 (255-279)
3. 書名 Advances in Photosynthesis and Respiration 44	

〔産業財産権〕

〔その他〕

日本作物学会第247回講演会において、ミニシンポジウム「作物生産の向上に繋げる光合成細胞の構造解析」を開催した(2019年3月29日)。以下の3名が光合成細胞の微細構造に関する最新の研究成果を紹介し、作物の生産性や環境ストレス耐性の向上に繋げる基礎研究の今後の方向性について総合討論を行った。光合成を司る葉緑体の構造変化や細胞内配置に講演内容を絞り、多くの聴衆を得て質疑・議論がなされた。

1. 光合成細胞内オルガネラの立体配置(大井崇生, 名古屋大学大学院生命農学研究科)
2. ストレスに伴う葉緑体形態変化の生理的意義(山根浩二, 近畿大学農学部)
3. 低温誘導性の葉緑体配置を制御する温度センサーの発見(児玉豊, 宇都宮大学バイオサイエンス教育研究センター)

オーガナイザー: 谷口光隆

ミニシンポジウム報告: 日本作物学会紀事 (2019) 88: 216

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	大井 崇生  (OI Takao)  (60752219)	名古屋大学・生命農学研究科・助教    (13901)	
連携 研究者	山根 浩二  (YAMANE Koji)  (50580859)	近畿大学・農学部・准教授    (34419)	