

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K01017

研究課題名(和文)細胞のつくりとはたらきの理解を促す画像教材の開発 - 植物編 -

研究課題名(英文) Development of a photographic textbook which facilitates the understanding of structure and function of plant cells

研究代表者

金子 康子 (Kaneko, Yasuko)

埼玉大学・教育学部・教授

研究者番号：30194921

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：新しい生物電子顕微鏡観察技術により得られた画像を用いて、植物のつくりとはたらきの理解を促すことのできる教材画像集を作成した。できるだけ生きている状態に近い微細構造像を白黒の電子顕微鏡像として取得し、そこに光学顕微鏡から得られる自然な色を着色、さらに立体感のある像を作出するなど、正確かつ分かりやすい表現方法を工夫した。植物の生き方を理解することにつながる植物細胞の微細な姿を魅力的な画像で提示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太陽の光エネルギーを伝達することによって地球上のすべての生命を支え、地球環境を創出し、人間活動に様々な恩恵を与えている植物の生き方を理解することは極めて重要である。これまで紹介される機会が限られていた植物細胞の正確な姿を、分かりやすく魅力的な画像集として提示することによって、植物のはたらきや成長の仕方への理解を格段と深めることが可能となった。画像集は学校教育現場のみならず広く一般の人々を対象に公開されている。

研究成果の概要(英文)：Ultrastructural images close to the living state were obtained by applying newly developed instruments and techniques for biological electron microscopy. The originally black and white electron microscopic images were colored with natural colors obtained from light microscopy. The resulting images of plant cells are attractive and informative, suggesting how plant cells work to support plant life. The collected photographs are available for classwork with school children, but also of interest to the general public.

研究分野：植物細胞生物学

キーワード：植物細胞 顕微鏡観察 電子顕微鏡

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球上で植物が担っている最も重要なたたらきは「太陽の光エネルギーを他の生物が使える形に変換すること」である。しかし、現行の教科書にある簡略化した植物細胞の模式図(動物細胞に付加的に葉緑体と液胞、細胞壁が描かれている)から、このたたらきを推し測ることは困難である。これまで新しい生物電子顕微鏡観察技術を用いることにより、活動し機能する植物細胞の実際の姿を捉えた画像を蓄積してきた。これらを活用して、植物細胞のつくりとはたたらきを効果的に理解することのできる教材としての画像集を作成する必要性を強く感じた。

2. 研究の目的

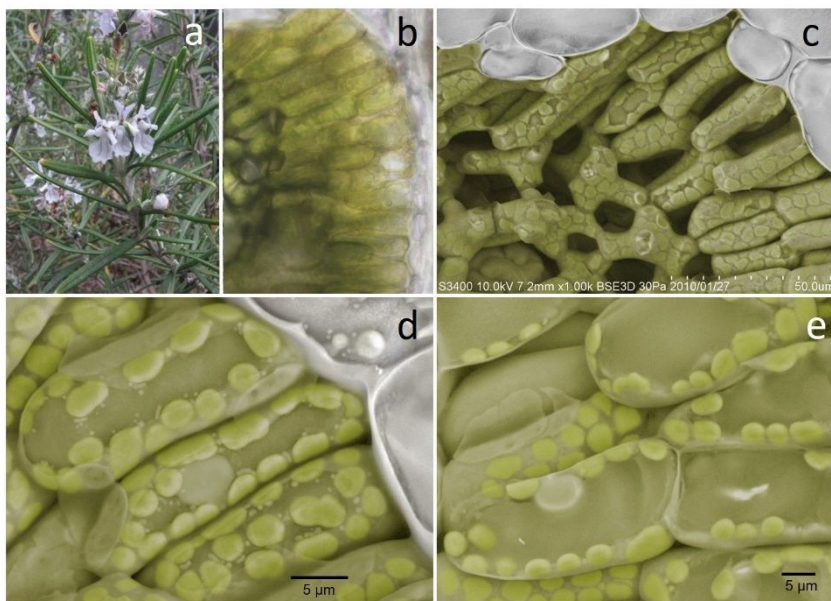
最新の生物電子顕微鏡観察技術により取得した画像を用いて、小・中学校、高等学校の理科教育課程で扱う植物に関する項目を網羅し、従前の模式図に比べて植物の特徴を反映した構造を一見して捉えることのできる、格段と分かりやすい画像と模式図を提供することを目的とする。これまでに取得し、蓄積してきた細胞の様々な活動状態を表す電子顕微鏡画像を活用するだけでなく、新たに必要な電子顕微鏡画像や光学顕微鏡画像を取得し、白黒の電子顕微鏡画像へ自然な色を着色する方法や立体的な表示方法を検討する。植物組織や細胞の構造と機能を的確に表現するとともに、科学への興味を誘う魅力的な画像集を作成する。

3. 研究の方法

- (1)小・中学校、高等学校の現行の教科書で扱われている植物に関する項目を見直し、教育効果を高めるために必要と考えられる画像と模式図の案を作成する。
- (2)これまでに蓄積した電子顕微鏡画像を活用するとともに、最新の電子顕微鏡技術を用いて植物組織や細胞の構造と機能を表現できる新たな画像の取得を進める。
- (3)取得した画像をさらに魅力的で分かりやすいものとするため、自然な色の着色法や立体の表現方法を検討する。
- (4)画像集を出前授業や大学講義で紹介し児童、生徒、学生の反応をもとに改良する。

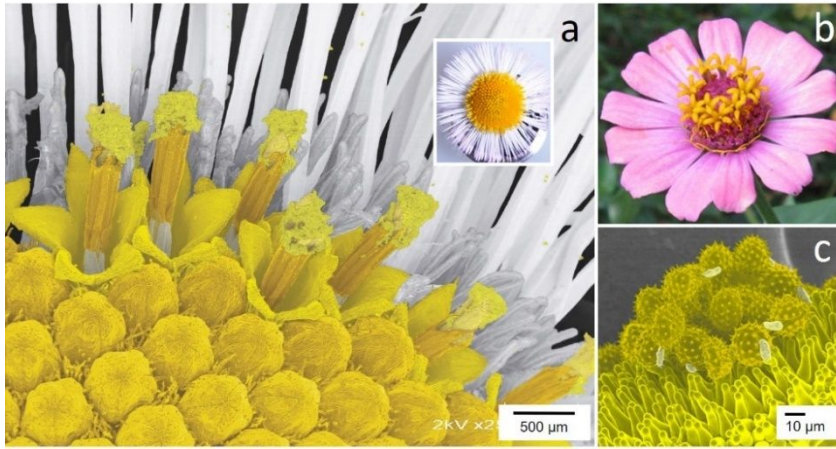
4. 研究成果(作成した画像集の一部を一般向けの解説付きで紹介する)

(1)光合成を担う葉の細胞：地球上のすべての生命を支える光合成は植物細胞の葉緑体で行われる。ここで太陽の光エネルギーをほかの生物が使える形に変換する。葉緑体は葉の細胞の表面下にびっしりと敷石のように並んで太陽光を受け止め、また細胞間の隙間から二酸化炭素を取り込んでいる。細胞の中央部には巨大な液胞があり、植物細胞の形を支え、細胞が伸長したり肥大したりする原動力となる。



<マンネンロウ(ローズマリー)> a. 深緑色の葉と薄紫色の花。b. 光学顕微鏡でみた葉の細胞。c. 凍らせて割った葉の断面をクライオ走査電子顕微鏡で観察。自然な色を着色。葉緑体は細胞の表面下に並んで太陽の光をとらえる。また細胞間の隙間から二酸化炭素を取り込む。光合成に都合のよい配置。d, e. 葉の細胞の中を観察。中央部は巨大な液胞が占める。葉緑体と細胞質は細胞周辺部のみにある。

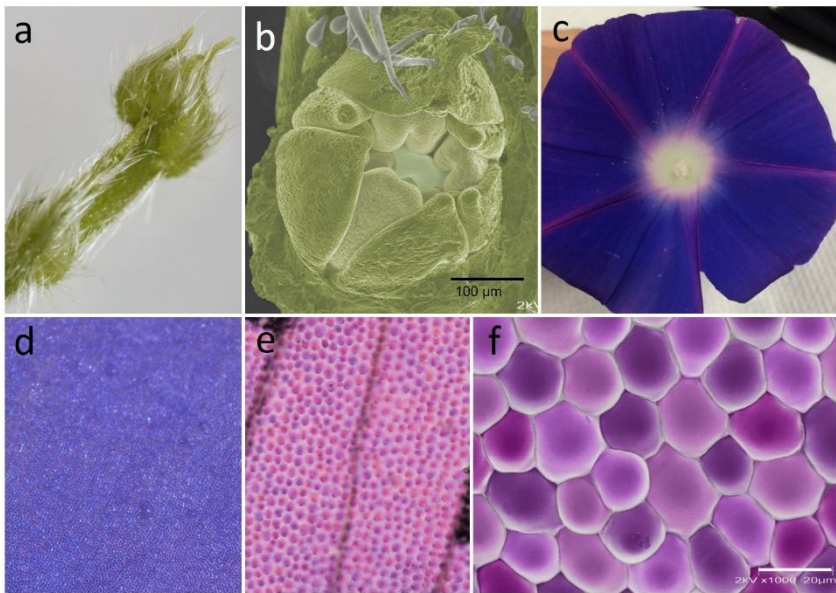
(2)キク科の集合花のつくりと受粉：タンポポ、ハルジオン、ハハコグサ、ヒメジョオン、ヒマワリ、ヒャクニチソウ、コスモス…。雑草でも校庭の花でもキク科に属する種類は極めて多い。地球上でもっとも成功している植物の仲間であるといわれるが、その秘密は花のつくりにある。一つの花のように見えるのは多数の花が集まった集合花である。花には舌状花と筒状花の2種類があり、タンポポは舌状花のみ、ハハコグサは筒状花のみからなる集合花である。小花は同心円状に並び、外側から順次開花する。昆虫が集合花上を動き回って受粉を媒介する。



<ハルジオンとヒャクニチソウの集合花>
 a. 囲みの中の集合花を走査電子顕微鏡で撮影した後、自然な色を着色した。白い花弁の舌状花にはめしべのみ、黄色い花弁の筒状花にはめしべとめしべを取り囲むようにおしべの葯が並んでいる。左下は開花前のつぼみの状態の筒状花。b. 夏に校庭の花壇でよく見かけるヒャクニチソウの集合花。ピンク色の舌状花には黄色い糸のようなめしべがみえる。中央部には黄色い星型の筒状花が開花している。c. ヒャクニチソウ舌状花のめしべの柱頭を走査電子顕微鏡で撮影後、自然な色を着色。たくさんある花粉が受粉している。花粉から白い花粉管が伸びている様子が分かる。

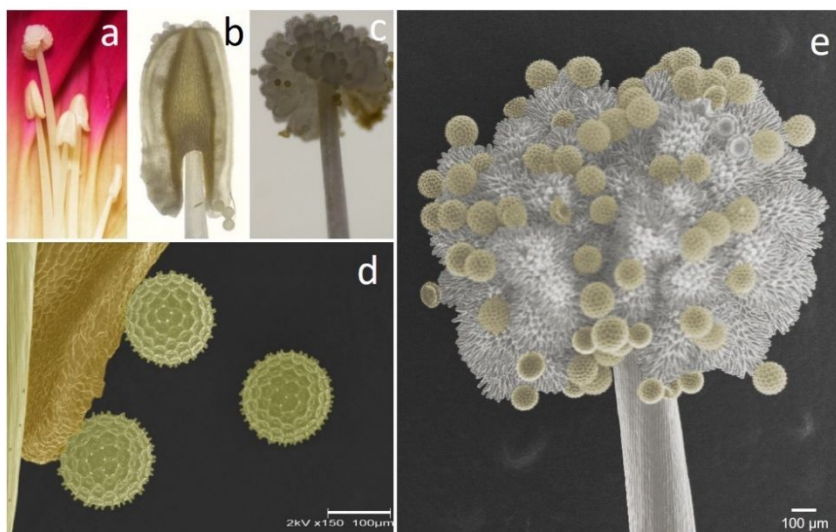
花壇でよく見かけるヒャクニチソウの集合花。ピンク色の舌状花には黄色い糸のようなめしべがみえる。中央部には黄色い星型の筒状花が開花している。c. ヒャクニチソウ舌状花のめしべの柱頭を走査電子顕微鏡で撮影後、自然な色を着色。たくさんある花粉が受粉している。花粉から白い花粉管が伸びている様子が分かる。

(3)アサガオの花：小学校で育てることも多く、色水遊びや自由研究の題材としても人気の植物である。花芽形成が夜の長さに制御されており、夏休み中に多く開花することも人気の理由であろう。開花する2、3週間前には既に葉や茎を作る分裂組織が花芽形成のシグナルを受けて花芽への分化を開始している。



<アサガオの花1>

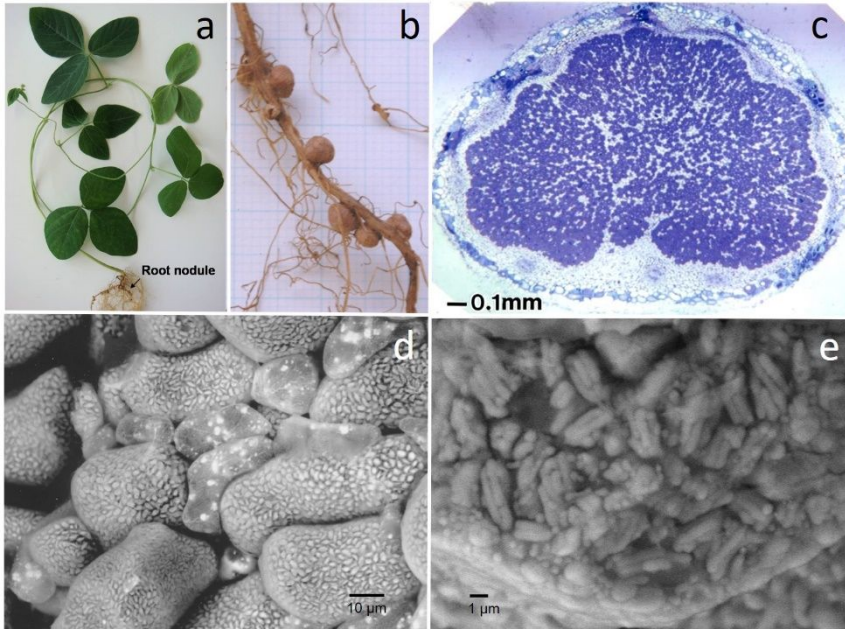
a. つぼみと分かるはるか前から花の準備が始まっている。b. 花芽が分化する様子。走査電子顕微鏡像に自然な色を着色した。外側からがく片、花弁、おしべの葯の原基が分化している。中央の穴はめしべの子房になる。c. 色とりどりの花弁。d, e. 花弁を光学顕微鏡で拡大。花弁の色は細胞内の液胞にある水溶性色素である。f. 花弁の走査電子顕微鏡像に自然な色を着色。



<アサガオの花2>

a. アサガオのめしべとおしべ。b. おしべの葯。花粉が見える。c. めしべの柱頭。たくさん花粉が受粉している。a, b, c は実体顕微鏡写真。d. おしべの葯から花粉が放出される場所。花粉の表面には多数の突起。e. めしべの柱頭に受粉した花粉。d, e は走査電子顕微鏡像に自然な色を着色した。

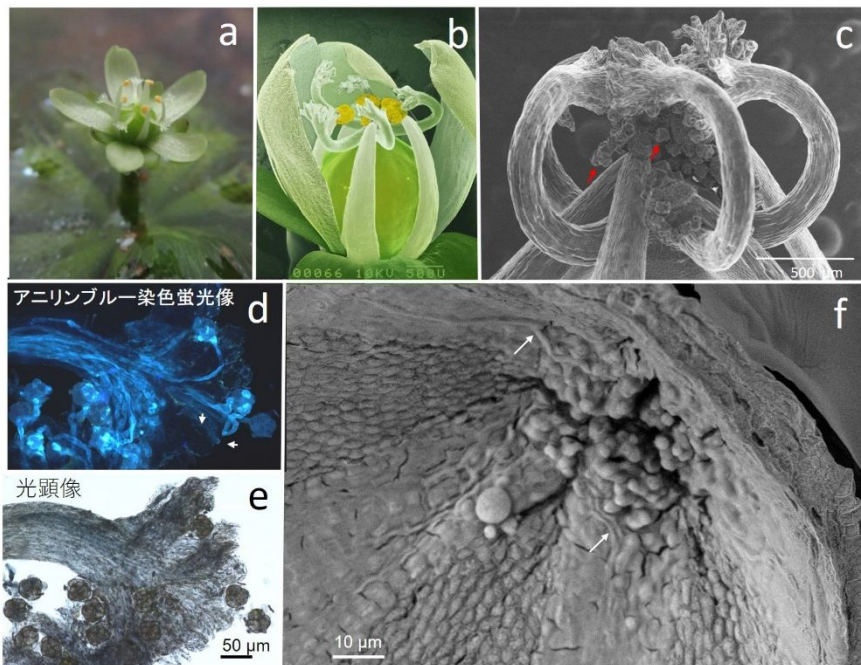
(4) 空気中の窒素を肥料に変えるマメ科植物の根粒：ダイズ、インゲンマメ、エンドウ、レンゲなどマメ科植物の多くは土壌中の根粒菌が感染して根粒とよばれる構造を作る。根粒内で根粒菌は共生体としてエネルギー源を得、植物細胞に守られながら空気中の窒素を固定してアンモニアを生成して植物に渡す。マメ科植物の根粒は極めて効率の良い肥料工場ともいえる。



<ダイズの根粒> a. ダイズを掘り出してみると根にこぶのような構造(根粒)がみえる。b. 根粒の拡大像。ダイズの根粒は球状に発達する。c. 根粒を化学固定後樹脂に包埋して切片を作製、染色して光学顕微鏡で観察。中央部の紫色の細胞は根粒菌が感染した細胞。白く見える細胞は非感染細胞で窒素化合物の代謝に関わる。d. 凍結した根粒の断面をクライオ走査電子顕微鏡観察した像。根粒菌がぎっ

しりつまった感染細胞の間に、デンプン粒を含む非感染細胞がある。e. 感染細胞の拡大像。桿状の根粒菌は数個体ずつ植物細胞が合成した膜につつまれて共生体として存在している。

(5) 水生食虫植物ムジナモの幻の花：ムジナモは希少な水生の食虫植物で世界的に絶滅が危惧されている。日本では埼玉県羽生市宝蔵寺沼が国内最後の自生地として国の天然記念物に指定されている。夏の日中、稀に1時間だけ花を咲かせることから幻の花とも呼ばれる。日本のムジナモは19世紀末に牧野富太郎が発見し、詳細な花の模式図を発表して世界的に評価された。



<ムジナモの花> a. 満開のムジナモの花。直径約5mm。b. ムジナモの花の走査電子顕微鏡像に自然な色を着色。c. 閉花後には5本のめしべの花柱が屈曲して、柱頭は葯から放出された花粉(赤矢印)をつかんでいるように見える。d, e. めしべの柱頭に受粉した花粉から花粉管が伸びる様子。f. 花粉管は柱頭から花柱内を通り、子房に侵入する。凍結した試料をクライオ走査電子顕微鏡観察すると、子房内壁

に沿って花粉管(白矢印)が5つの経路に分かれて伸長することが分かった。この経路は粘液でおおわれていることが明らかになった。花粉管を受精が起こる胚珠まで導く働きがあると考えられる。

(6) 出前授業：中学生や小学生、一般の方を対象にした出前授業では、紹介した画像から植物の生き方、つくりとはたらきについて多くを学び、興味を持ってもらうことができた。また、一部の画像は新しい高等学校生物の教科書の口絵に採用される予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ilika Ghosh, Kimie Atsuzawa, Aoi Arai, Ryuzo Ohmukai, Yasuko Kaneko	4. 巻 2021
2. 論文標題 TEM observation of compacted DNA of <i>Synechococcus elongatus</i> PCC 7942 using DRAQ5 labelling with DAB photooxidation and osmium black.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Microscopy	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/jmicro/dfaa058	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 該当する
1. 著者名 Sharmin Farhana, Atsuzawa Kimie, Jung Stephan, Schubert Sven, Kaneko Yasuko	4. 巻 68
2. 論文標題 Para-crystalline membrane structures resembling prolamellar bodies in the invasion zones of indeterminate root nodules of <i>Vicia faba</i> L.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microscopy	6. 最初と最後の頁 379 ~ 384
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/jmicro/dfz027	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 該当する
1. 著者名 Kimie Atsuzawa, Daiki Kanaizumi, Mizuki Ajisaka, Tasuku Kamada, Kimie Sakamoto, Hisashi Matsushima, Yasuko Kaneko	4. 巻 69
2. 論文標題 Fine structure of <i>Aldrovanda vesiculosa</i> L: the peculiar lifestyle of an aquatic carnivorous plant elucidated by electron microscopy using cryo-techniques.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Microscopy	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/jmicro/dfaa019/5824311	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 -
1. 著者名 Kaneko Y, Sharmin F, Bulbul N, Atsuzawa K	4. 巻 68
2. 論文標題 Backscattered electron imaging of high pressure frozen soybean root nodules visualizes formation of symbiosome membranes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microscopy	6. 最初と最後の頁 181-184
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/jmicro/dfy138	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 該当する

1. 著者名 Murata K, Kaneko Y	4. 巻 137
2. 論文標題 Visualization of DNA Compaction in Cyanobacteria by High-voltage Cryo-electron Tomography	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J Vis Exp	6. 最初と最後の頁 57197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3791/57197	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 -

1. 著者名 Yasuko Kaneko, Makoto Tokunaga, Kyoko Tanaka, Kimie Atsuzawa, Masako Nishimura	4. 巻 67
2. 論文標題 Backscattered electron imaging and elemental analysis of rapidly frozen plant cells using variable accelerating voltage	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microscopy	6. 最初と最後の頁 125-128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jmicro/dfx133	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23件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 金子康子
2. 発表標題 植物組織細胞のクライオSEM観察
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第77回学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 カナム サルマ、厚沢季美江、金子康子
2. 発表標題 ダイズ乾燥種子中の胚軸細胞構造の観察
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第77回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武笠峻平、厚沢季美江、金子康子
2. 発表標題 水生食虫植物ムジナモ捕虫葉における消化酵素の分泌と微細構造変化
3. 学会等名 日本植物学会第85回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Salma Khanam, Kimie Atsuzawa, Yasuko Kaneko, Koji Tanaka, Takayuki Funatsu
2. 発表標題 Visualization of lipid bodies by SEM and optical microscopy in embryonic axis cells of soybean seeds.
3. 学会等名 日本植物学会第85回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 厚沢季美江、柳川初、武笠峻平、金子康子
2. 発表標題 水生食虫植物ムジナモの生命現象と微細構造変化
3. 学会等名 日本植物学会第84回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金泉大樹、厚沢季美江、金子康子
2. 発表標題 水生食虫植物ムジナモの受粉から種子発芽まで
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 田村昂生、亀田周諭、金子康子
2. 発表標題 植物の電子顕微鏡画像を自然な色で表す試み
3. 学会等名 日本植物学会第83回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井田将人、大曲惇、川人万生、金子康子
2. 発表標題 宝蔵寺沼ムジナモ自生地の復元と維持
3. 学会等名 日本植物学会第83回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原田曜、鈴木悠人、厚沢季美江、徳永誠、金子康子
2. 発表標題 キュウリ種子発芽時のベグ形成に関わる微細構造と元素分布変化
3. 学会等名 日本植物学会第83回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 MD. Nesar Uddin, Yasuko Kaneko
2. 発表標題 Anatomical and sub-cellular changes in growing rice plants in response to drought and first phase salt stresses
3. 学会等名 第61回植物生理学会年会（大阪）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 シャーミン ファルハナ、厚沢季美江、金子康子
2. 発表標題 ソラマメ根粒における共生体の形成と分解
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第74回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 亀田周諭、厚沢季美江、金子康子、大野輝昭
2. 発表標題 立体的で自然な色をもつ植物細胞像を表す工夫
3. 学会等名 鏡学会第74回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水生食虫植物ムジナモの捕虫葉における消化酵素の分泌と細胞構造変化
2. 発表標題 柳川初、鎌田丞、松本彰太郎、厚沢季美江、金子康子
3. 学会等名 日本植物学会第82回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 林真子、厚沢季美江、金子康子
2. 発表標題 銅イオンがシアノバクテリアの細胞構造に及ぼす影響
3. 学会等名 日本植物学会第82回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金泉大樹、厚沢季美江、松島久、金子康子
2. 発表標題 宝蔵寺沼のムジナモの開花から種子発芽まで
3. 学会等名 日本植物学会第82回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 亀田周諭、厚沢季美江、金子康子
2. 発表標題 植物細胞のつくりとはたらきを分かりやすく伝える方法の検討
3. 学会等名 日本植物学会第82回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 峰雪芳宣、山内大輔、金子康子、唐原一郎
2. 発表標題 マイクロCTとSEMで拓く植物の空洞研究
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第73回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鯉坂瑞暉、厚沢季美江、徳永誠、金子康子
2. 発表標題 水生食虫植物ムジナモの捕虫葉閉合運動にかかわる細胞構造変化
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第73回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 植物細胞のつくりとはたらきを分かりやすく伝える工夫
2. 発表標題 亀田周諭、厚沢季美江、金子康子、大野輝昭
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第73回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金泉大樹、厚沢季美江、松島久、金子康子
2. 発表標題 絶滅危惧水生食虫植物ムジナモの保全と開花、受粉から種子形成まで
3. 学会等名 第35回日本植物細胞分子生物学会埼玉大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Farhana Sharmin, 厚沢季美江、徳永誠、金子康子
2. 発表標題 ソラマメ根粒の感染細胞における共生体膜の形成
3. 学会等名 日本植物学会第81回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金泉大樹、厚沢季美江、松島久、金子康子
2. 発表標題 絶滅危惧水生食虫植物ムジナモの受粉から種子形成まで
3. 学会等名 日本植物学会第81回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 亀田周諭、厚沢季美江、金子康子、大野輝昭
2. 発表標題 電顕画像を活用して植物細胞のつくりとはたらきを伝える工夫
3. 学会等名 日本植物学会第81回大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------