

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 18 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350236

研究課題名(和文) ミクロの目で身近な植物の生命現象を探る - 観察体験を深化させる顕微鏡画像集の作成

研究課題名(英文) A series of microscopic images which assists the understanding of the plant life around us

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) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：実際に体感できる身の回りの植物の様々な生命現象を、肉眼のレベルから、実体顕微鏡、光学顕微鏡、電子顕微鏡などを活用して順次拡大した画像を用い、ストーリーのある画像集を作成し、ホームページ「ミクロの扉」として公開した。新しい電子顕微鏡技術を駆使して、わかりやすく魅力的な細胞内の微細な構造を紹介するとともに、植物の複雑で精巧な生き方に触れ、驚きと感動を感じることで美しい生物の画像集を目指した。

研究成果の概要(英文)：We built a home page titled "Gate to the Micro World", in which the viewer can experience how it is to explore the plant world step by step, as magnification increases and the focus shifts to smaller and smaller objects. Each page is composed of photos arranged in sequence, starting with what the naked eye can see, then the dissecting microscope, the light microscope and finally the electron microscope. The photos are intended to tell a story describing a facet of plant life. The images are appealing to the eye at the same time as they are explanatory, so the viewer can feel the beauty and grasp the functional complexity of living organisms.

研究分野：植物細胞生物学

キーワード：電子顕微鏡 細胞微細構造 植物環境応答

1. 研究開始当初の背景

(1) およそ300年前に開発された光学顕微鏡により、人類は微生物や精子など肉眼では見ることのできないミクロの世界を発見し、身の回りの生命現象への理解を飛躍的に深めてきた。20世紀後半には電子顕微鏡が開発され、細胞内の微細構造や生体を構成する分子までも可視化することが可能となっている。生物のDNA塩基情報が次々と解明される現代においても、これら微細構造から得られる知見は生命科学の進展に不可欠である。

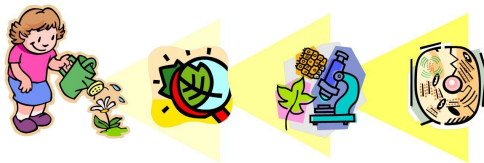
(2) 近年、蛍光顕微鏡、レーザー顕微鏡、電子顕微鏡により生物を観察する技術革新は目覚ましく、細胞内の多様な現象を美しい顕微鏡画像で提示することが可能となった。また生物電子顕微鏡分野においても凍結技法を活用して生物の活動状態に近いいきいきとした微細構造を、わかりやすい3次元画像として提示することができるようになった。

(3) 美しく魅力的な顕微鏡画像を用いて、肉眼の世界から、段階的にミクロの世界にいきなうことのできる画像集により、児童・生徒をはじめ多くの人に、生命の精巧さや不思議さを伝え、科学への興味を導くことができるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

(1) 子どもたちをとりまく日常の世界を基点に、あたかも一歩ずつミクロの世界に分け入っていくように感じることができるよう(下図)一連の魅力あふれる画像からなる画像集を作ることを目指す。1点1点の画像としてはいずれも生命の精巧さと不思議さを感じることができ美しいもの、また現代生物学の到達点と技術を反映した先端の情報を有するものを取得して用いる。

日常の世界 虫眼鏡の世界 光学顕微鏡の世界 電子顕微鏡の世界
10分の1 100分の1 10000分の1



(2) 身の回りの植物の様々な生命現象を選定し、テーマごとに肉眼、実体顕微鏡、光学顕微鏡、蛍光顕微鏡、走査電子顕微鏡、透過電子顕微鏡を用い、それぞれのレベルで生命活動を反映したわかりやすく美しい画像を取得する。それらの画像をもとに、あたかも段階的にミクロの世界に分け入って探検するように感じられる画像集をホームページ上に構築する。

3. 研究の方法

(1) テーマの選定：児童・生徒が日常生活の中で身近に観察することのできる植物の現象であり、様々な顕微鏡画像によりミクロ

の世界に分け入ったときに、驚きと感動を体験することのできる素材であること、を基準としてテーマを選定した。

(2) 画像の取得：テーマごとに様々な階層の画像を取得する。いずれのレベルでも驚きと感動を得ることができ美しく分かりやすい画像を取得することを目指した。

レベル1 日常生活で接する画像

レベル2 実体顕微鏡で拡大した画像

レベル3 光学顕微鏡で拡大した画像

レベル4 電子顕微鏡で拡大した画像

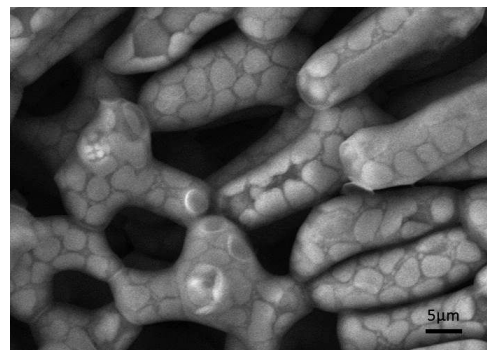
レベル4では特に最新の凍結技法を改良しながら取り入れて、クライオ走査電子顕微鏡像や低真空反射電子像など斬新で魅力的な画像を取得した。

(3) 画像集・ホームページの作成：写真の選定、配置、提示法を工夫しながらストーリー性のある画像集を作成しホームページで公開した。出張授業などの機会に画像集の一部を紹介し、小・中学生、高校生、大学生の反応をもとに、より分かりやすく、驚きと感動を伝えることができるよう改良を加えた。

4. 研究成果

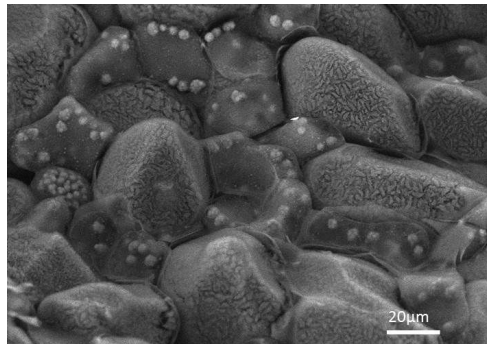
(1) テーマの選定とストーリーの構築：身の回りの植物の世界を紹介するためのテーマを選定し分かりやすく、興味を持つことのできる筋書きを作った。これらのテーマとストーリーは、顕微鏡画像と共に書籍(ぼくらは「生物学」のおかげで生きている)として出版した。選定したテーマの例は次のようなものである。「葉緑体」「植物の上陸」「水の通り道」「春の花オオイヌノフグリ」「キク科植物の花のつくりヒャクニチソウ」「マメ科植物と共生窒素固定」「夏休みの花アサガオ」「種子の移動」「冬の植物サクラの花芽」「水生食虫植物ムジナモの世界」

(2) 画像の取得：テーマに沿ってデジカメや光学顕微鏡レベルの画像を取得するとともに、最新の生物電子顕微鏡技術を改良して、斬新で分かりやすい電子顕微鏡像を取得した。

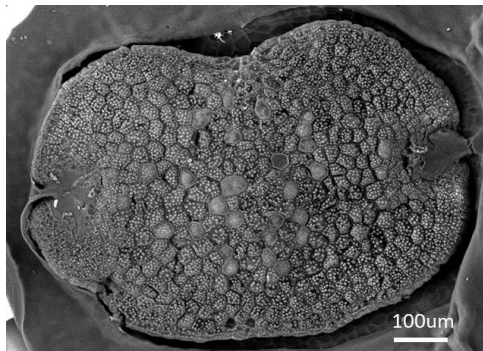


上図はローズマリー(マンネンロウ)葉を急速凍結してクライオSEM観察したものである。この方法では葉の柵状組織細胞や海綿状組織細胞の特徴的な形状を捉えることができた。さらに、それぞれの細胞表面下に葉緑

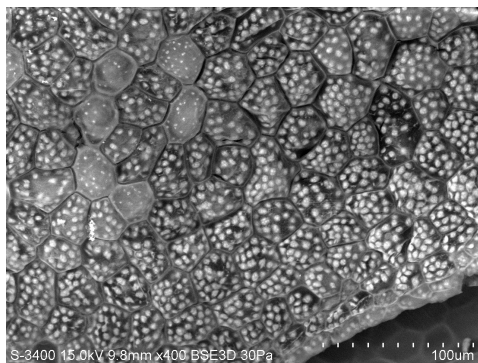
体が敷石のように並ぶ様子をわかりやすく示すことができた。



上図はダイズ根粒の感染域の細胞を急速凍結後クライオ SEM 観察したものである。多数の根粒菌を含む感染細胞と液胞化して発達したデンプン粒を含む非感染細胞の 2 種類の細胞で構成されていることが良く分かる。根粒菌は菌のような形状の共生体膜の中に数個体ずつ含まれていた。

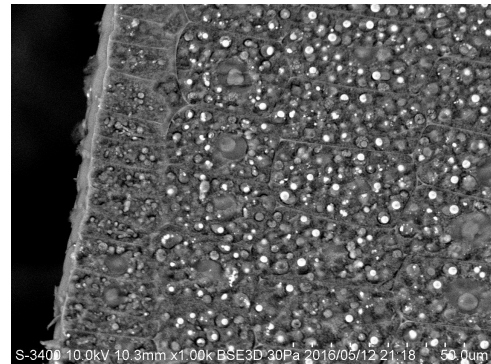


上図はゼニゴケ無性芽を急速凍結後凍結乾燥させ細胞内構造(葉緑体)を可視化したものである。低真空 SEM 反射電子像では全体の形状を保ったまま葉緑体の配置を高コントラストで観察することができた。下図は上図の一部を拡大した像である。細胞内の葉緑体の数や配置を生きている状態に近い様子を保持したまま鮮明に観察することができた。



また、キュウリ種子の吸水発芽時の胚軸を高圧凍結し凍結したままクライオマイクロームで平滑面を出して観察する試みも行った。キュウリ種子は発芽時に重力方向にペグと呼ばれる突起を形成して固い種皮を押さえつける仕組みを持っている。ところが、重力と反対方向では突起の形成を抑制することから、重力形態形成の一例として興味深い。

キュウリ発芽時のペグ形成抑制部位の断面像を下図に示す。細胞の形状や配置とともに細胞内の核や貯蔵物質を含む構造を鮮明に観察することができた。さらにこの状態で元素分析を行うこともできた。プロテインボディはリンを含む結晶様の構造を含むことやカルシウムの局所的な分布が分かった。



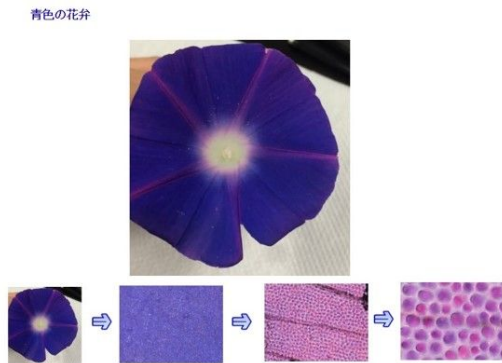
このように急速凍結技法を中心に、新しい生物電子顕微鏡試料作製法を試行錯誤し、従来法では取得が困難であった、より生きている状態を反映した、分かりやすく魅力的な画像をさまざまな植物材料を用いて撮影することができた。

(3) ホームページの作成：ホームページは「ミクロの扉」と命名し、身の回りの自然を表現した画像(下図)をトップページにした。このトップページの画像の一部をクリックすることにより、「草原」、「樹木」、「水辺」などに関連するテーマが表示される。トップ画像として「春から夏」用(下図上段)と「秋から冬」用(下図下段)の 2 種類作成した。ホームページはスマホやタブレット PC でも閲覧できる。

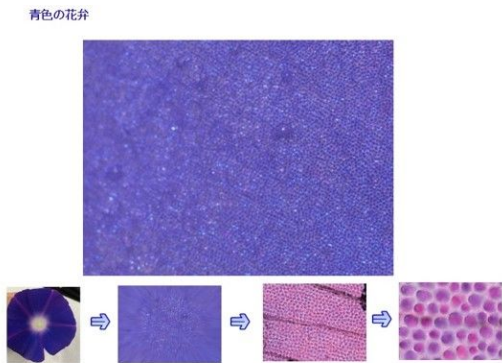


各テーマのページでは、様々な拡大率の画像を一望できるように配置し、個々の画像にカ

カーソルを合わせることによりズームアップされる仕組みを工夫した。たとえば「夏休みの花アサガオ」のページには次のような画像が含まれる。花弁を順次拡大した画像が並び、左端の画像にカーソルを当てると花がズームアップされ(下図上段)、左から2番目の顕微鏡画像にカーソルを当てると、その画像がズームアップして表示される(下図下段)。

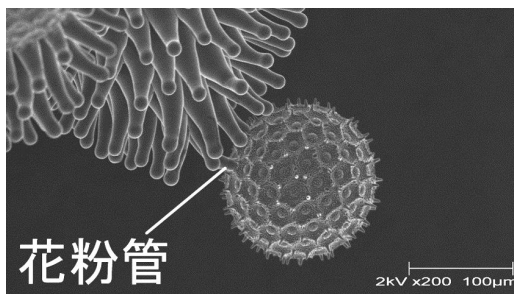
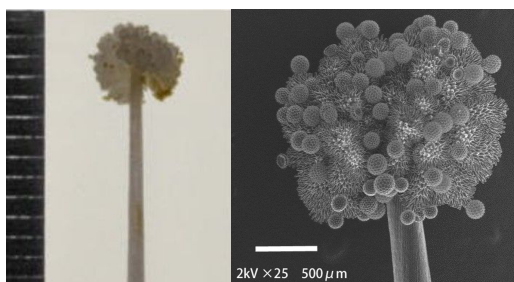


上の画像は右にいくほど拡大しています。見たい画像の上にマウスを置いてみてください。

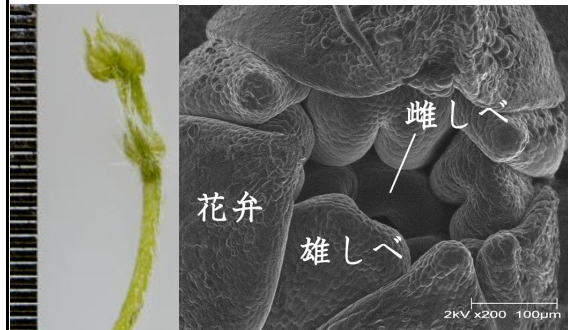


上の画像は右にいくほど拡大しています。見たい画像の上にマウスを置いてみてください。

さらに、花の雄しべや雌しべ(下図上段左)の拡大像、受粉の様子(下図上段右)や雌しべの柱頭に受粉した花粉が花粉管を伸ばす様子(下図下段)を見ることができる。



また、萼の先端に形成される1mm程度の小さな芽(下図左)の中に花器官の原基(下図右)が形成されている様子も紹介できた。



(4) まとめと今後の課題：さまざまな顕微鏡観察手法をとりいれて、植物の生活する様子を表す多くの魅力的な画像を取得することができた。特に凍結技法を改良して取得した電子顕微鏡画像では、従来法では得ることのできなかった、生命活動の一面を鮮明に捉えて提示することができた。それらを含めて異なるレベル(拡大率)の画像を適切に配置して、簡単な説明を加えたページでは、植物のミクロの世界に分け入って探検するような感覚を体験することが可能となった。特にカーソルを当てることによるズームアップ画像表示の方法は操作性もよく、興味関心を引き付けるために効果的であった。様々なテーマの中で、日常生活で触れることのある植物や、学校の授業などで扱う植物のページは、ことさら子ども達の興味関心を引く様子であった。新たなテーマへのリクエストも寄せられている。今後さらにコンテンツを増やし、改良を加えつつ内容を充実させていく予定である。

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4件)

Asaeda T, Abeynayaka HDL, Tanaka K, Atsuzawa K, Kaneko Y, Nishida H, Inada S, An alternative method to improve the settleability of gas vacuolated cyanobacteria by collapsing gas vesicles, *Water Science & Technology: Water Supply*、査読有、2015、DOI: 10.2166/wa2016.068

Kawahara A, Sato Y, Saito Y, Kaneko Y, Takimura Y, Hagiwara H, Hihara Y, Free fatty acid production in the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803 is enhanced by deletion of the cyAbrB2 transcriptional regulator, *Journal of Biotechnology*、査読有、2015、220、2015、1-11
DOI: 10.1016/j.biotech.2015.12.035

Atapathth KS, Miyagi A, Atsuzawa K, Kaneko Y, Kawai-Yamada M, Asaeda T, Effects of water turbulence on variations in cell ultrastructure and metabolism of amino acids in the submerged macrophyte, *Elodea nuttallii* (Planch.) H. St. John, *Plant Biology*, 査読有, 17 (5), 2015, 990-1004
DOI: 10.1111/plb.12346

Atker K, Kato M, Sato Y, Kaneko Y, Takezawa D, Abscisic acid-induced rearrangement of intracellular structures associated with freezing and desiccation stress tolerance in the liverwort *Marchantia polymorpha*, *Journal of Plant Physiology*, 査読有, 171(15), 2014, 1334-1343
DOI: 10.1016/j.jplph.2014.05.004

[学会発表](計 16 件)

鎌田 丞、厚沢 季美江、金子 康子、水生食虫植物ムジナモが酸性フォスファターゼを分泌するしくみ、日本顕微鏡学会第 72 回学術講演会、2016 年 6 月 14-16 日、仙台国際センター(宮城県・仙台市)

坪内寿朗、厚沢 季美江、金子 康子、ハエトリソウ消化腺毛におけるプロテアーゼ活性の発現と微細構造変化、日本顕微鏡学会第 72 回学術講演会、2016 年 6 月 14-16 日、仙台国際センター(宮城県・仙台市)

鈴木 悠人、厚沢 季美江、徳永 誠、金子 康子、キュウリ種子発芽時にペグ形成を抑制するしくみ、2016 年 6 月 14-16 日、仙台国際センター(宮城県・仙台市)

鯨坂 瑞暉、三浦 弘人、厚沢 季美江、金子 康子、水生食虫植物ムジナモの生育を支える微細構造変化、日本植物学会第 79 回大会、2015 年 9 月 6-8 日、朱鷺メッセ：新潟コンベンションセンター(新潟県・新潟市)

坪内 寿朗、厚沢 季美江、徳永 誠、金子 康子、モウセンゴケ科食虫植物の消化酵素の分泌と微細構造変化、日本植物学会第 79 回大会、2015 年 9 月 6-8 日、朱鷺メッセ：新潟コンベンションセンター(新潟県・新潟市)

鈴木 悠人、石渡 遼、厚沢 季美江、徳永 誠、金子 康子、キュウリ種子発芽時のペグ形成制御に関わる細胞構造変化、日本植物学会第 79 回大会、2015 年 9 月 6-8 日、朱鷺メッセ：新潟コンベンションセンター(新潟県・新潟市)

金子 康子、門脇 裕、竹澤 大輔、低温・低真空 SEM による植物組織・細胞内構造の観察、日本顕微鏡学会第 71 回学術講演会、2015 年 5 月 13-15 日、国立京都国際会館(京都府・京都市)

大和 愛実、厚沢 季美江、村田和義、金子 康子、乾燥によるシアノバクテリアの細胞内構造変化、日本顕微鏡学会第 71 回学術講演会、2015 年 5 月 13-15 日、国立京都国際会館(京都府・京都市)

坪内 寿朗、金子 康子、モウセンゴケ科食虫植物の捕食過程の観察、日本植物学会第 78 回大会、2014 年 9 月 12-14 日、明治大学生田キャンパス(神奈川県・川崎市)

金子 康子、“宝蔵寺沼ムジナモ自生地”とムジナモの生育、日本植物学会第 78 回大会、2014 年 9 月 12-14 日、明治大学生田キャンパス(神奈川県・川崎市)

金子 康子、大和 愛実、厚沢 季美江、村田 和義、乾燥によるシアノバクテリア DNA の形状変化、平成 26 年度生理学研究所研究会、2014 年 11 月 12 日、岡崎コンファレンスセンター(愛知県・岡崎市)

田中 協子、徳永 誠、金子 康子、マツの葉のクライオ SEM 観察、日本顕微鏡学会第 70 回記念学術講演会、2014 年 5 月 11-13 日、幕張メッセ国際会議場(千葉県・千葉市)

ブルブル ナイーマ、村田 和義、米谷 祐太、金子 康子、ダイズ根粒感染細胞構造のクライオ電子顕微鏡観察、日本顕微鏡学会第 70 回記念学術講演会、2014 年 5 月 11-13 日、幕張メッセ国際会議場(千葉県・千葉市)

金子 康子、宝蔵寺沼のムジナモ - 生き物のつながりとミクロの世界 -、平成 25 年度小・中学校理科教育研修会、2014 年 2 月 2 日、埼玉大学教育学部附属小学校(埼玉県・さいたま市)

金子 康子、植物細胞のクライオ SEM 観察、平成 25 年度生理学研究所研究会、2013 年 11 月 13 日、岡崎コンファレンスセンター(愛知県・岡崎市)

ブルブル ナイーマ、米谷 祐太、村田 和義、金子 康子、ダイズ根粒感染細胞中の共生体膜の形成、日本植物学会第 77 回大会、2013 年 9 月 13-15 日、北海道大学札幌キャンパス(北海道・札幌市)

〔図書〕(計 1 件)

金子 康子、日比野 拓、実務教育出版、
ぼくらは「生物学」のおかげで生きている、2016、232(1-3、51-57、72-75、82-139、
159-171、185-205)

〔その他〕

ホームページ等

<http://park.saitama-u.ac.jp/~kaneko/micronotobira.html>

6 . 研究組織

(1)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： 3 0 1 9 4 9 2 1

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

高橋 麗菜 (TAKAHASHI, Reina)