

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K14491

研究課題名（和文）植物の光環境への適応における葉緑体光定位運動の寄与

研究課題名（英文）chloroplast movement on adapting light environment

研究代表者

後藤 栄治（Gotoh, Eiji）

九州大学・農学研究院・助教

研究者番号：90614256

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：光合成に依存して生育する植物は、移動能力がないため、自然状況下では様々な光環境に適した光合成を行う必要がある。光環境に適した光合成には、光合成の場である葉緑体が細胞内で光環境に応じた分布変化（葉緑体光定位運動）をすることが重要であり、葉緑体光定位運動が異なる光環境への適応を決定する重要な因子である。本研究では、様々な光環境に生育する植物種の葉緑体光定位運動を調べ、進化や適応の過程で生じた葉緑体の運動性の変化が、異なる光環境への適応を制御することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、野生植物の光環境の適応の有無を知る上で、葉緑体運動の運動性は指標の1つとなることが示唆された。植物の光環境適応を解明することは、植物の生態系の理解や貴重な植物種の保全に繋がるため、本研究の社会的意義は高いと考えられる。

研究成果の概要（英文）：Sessile plants rely on the activity of photosynthesis for their growth, so they need to perform photosynthesis suitable for a variety of light environments under natural conditions. The chloroplast movements are an important for photosynthesis suitable for the light environment. In this study, we investigated chloroplast movements in plant species grown under a variety of light environments. In a good agreement with the previous reports, the motility of chloroplast movement was higher in plants grown under weak light than in plants grown under strong light. On the other hand, plants grown under heavily weak light were found to have significantly lower motility of chloroplast movements. Furthermore, we found that plants with low motility of chloroplast movements were severely photodamaged by intense light exposure. These results suggest that chloroplast movements change during evolution and regulate the plant adaptation to different light environment.

研究分野：植物生態生理学

キーワード：葉緑体光定位運動 光環境

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

植物にとって光は、光合成によって自らの成長に必要な糧を合成するためのエネルギー源であるが、動物のように移動能力を持たない植物は、曝された光環境に適した光合成を営まなければ生存することができない。そこで植物は進化の過程で、光を好む陽性植物や日陰でも育つ陰性植物への分化をはたし、同じ植物体でも自然光が直接当たる光の下では強光に適した光合成を行う陽葉を発達させ、光が弱い場合は弱い光に適した光合成を営む陰葉を発達させるなど、変動する過酷な光環境に順化するよう適応してきた。

一方で、植物は、光の質や量、光の向きや強度を光受容体で感知し、オルガネラ、細胞、組織・器官レベルの応答を通して、最適な光合成を行っている。その応答の一つが葉緑体光定位運動である。葉緑体光定位運動とは、光合成の場である葉緑体が、周囲の光環境に応じて最適な光合成を行うために、細胞内を移動する現象である。葉緑体は、強光下では直射光を避けて細胞の側壁に移動する(逃避反応)、逆に、弱光下では光受容を最大にするため葉の表面側に集まる(集合反応)。

実験室環境下の変異株を用いた解析によって、葉緑体の局在変化が光合成へ及ぼす影響は明らかになったが、野外の植物における生育調査研究では、葉緑体の分布はほとんど考慮されていない。申請者はこれまでに、自然光が直接降り注ぐ光環境で生育する裸子植物の奇想天外 (*Welwitschia mirabilis*) において、細胞内の葉緑体の局在変化はほとんど観察されず、光の強弱に関係なく常に逃避反応状況を示すことを明らかにしてきた (Ishishita et al., 2016 *J Plant Res*)。葉緑体の運動性は、日陰に生育する植物の方が高いと考えられている。それに対して、林床でのみ生育する植物は、葉緑体の光依存的な運動性を完全に欠いた。この葉緑体光定位運動の運動性の違いは、林床種が適応もしくは進化の過程で獲得したものと考えられる。これらの結果は、生育環境に対する適応反応であり、植物が進化の過程で異なる光環境に対して異なる葉緑体光定位運動の応答性を獲得したことを強く示唆している。しかしながら、体系的に解析した例がないため、「様々な光環境への植物の適応・進化に葉緑体光定位運動がどの程度影響するのか？」については未解明のままである。

## 2. 研究の目的

様々な光環境に生育する植物種の葉緑体光定位運動を調べ、光環境への適応・進化に葉緑体光定位運動がどのように寄与するかを解明することを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究では、異なる生育環境に進化および適応した植物種をもちいて、異なる光環境への適応性と葉緑体の運動性を比較することで、進化や適応の過程で生じた葉緑体の運動性の変化が異なる光環境への適応を制御するか否かを明らかにする。そのために、下記の研究を期間内に行った。

### ① 林床でのみ生育可能な植物種における葉緑体光定位運動の解析

同じ属の中に、非常に弱い光の下で生育している種(林床種)や比較的光条件の良いところで生育している種(溪流種)が存在する供試材料を複数パターン用意し、葉の赤色光の透過率変化を用いて、葉緑体の運動性を解析した。

### ② 異なる光環境で生育可能な植物種の葉緑体光定位運動の解析

異なる科に属する、イネ (*Oryza species*: イネ科) セイヨウタンポポ (*Taraxacum officinale*: キク科)、オオバコ (*Plantago asiatica*: オオバコ科)、カタバミ (*Oxalis corniculata*: カタバミ科)、シロツメクサ (*Trifolium repens*: マメ科) を供試材料とし、日なた、半日陰、日陰に生育する上記の4種をそれぞれサンプリングし、赤色光の透過率変化を指標に、葉緑体の運動性を評価した。

### ③ 様々な光環境への適応性の高い植物種と低い植物種の光合成解析

異なる光環境への適応に関する葉緑体光定位運動の寄与を評価するために、研究項目①と②の植物を用いて、植物の生育を大きく左右する光合成の解析を行った。

## 4. 研究成果

### ① 林床でのみ生育可能な植物種における葉緑体光定位運動の解析

同じ属の中に、非常に弱い光の下で生育している種(林床種)や比較的光条件の良いところで生育している種(溪流種)が存在する供試材料を10パターン用意し、葉の赤色光の透過率変化を用いて、葉緑体の運動性を解析した。その結果、溪流種では集合反応と逃避反応に依存した明確な透過率の変化が見られたのに対し、林床種では集合反応がほとんど見られず、逃避反応のみが誘導されることが分かった。

### ② 異なる光環境で生育可能な植物種の葉緑体光定位運動の解析

イネ、セイヨウタンポポ、オオバコ、カタバミ、シロツメクサを供試材料とし、日なた、半日陰、日陰に生育する上記の4種をそれぞれサンプリングし、葉緑体の運動性を評価した。その結果、調べた全ての種で、日陰に生育する植物の葉緑体の運動性が高く、明るい光環境に生育すると葉緑体の運動性が低くなることが分かった。さらにこれらの運動性の違いは、柵状組織細胞の形状に相関があることが分かった (Kihara et al., In

press)。

③ 様々な光環境への適応性の高い植物種と低い植物種の光合成解析

上述の研究に用いた植物にて、植物の生育を大きく左右する光合成の解析を行った。ガス交換装置を用いて、光依存的なCO<sub>2</sub>の固定量を測定した結果、弱光下で生育する植物は、弱光照射時のCO<sub>2</sub>固定量が高く、強光下で生育する植物は、強光照射時のCO<sub>2</sub>固定量が高い、典型的な光合成のパターンを示した。また、弱光で生育する植物の中でも葉緑体の運動性が低い植物は、強光による光阻害を受けやすいことが分かった。

以上の結果により、葉緑体光定位運動の運動性の違いは、植物の光環境の適応において重要な役割をもつことが示唆された。

## 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 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Gotoh Eiji, Oiwamoto Kohei, Inoue Shin-ichiro, Shimazaki Ken-ichiro, Doi Michio	4. 巻 70
2. 論文標題 Stomatal response to blue light in crassulacean acid metabolism plants <i>Kalanchoe pinnata</i> and <i>Kalanchoe daigremontiana</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Botany	6. 最初と最後の頁 1367 ~ 1374
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1093/jxb/ery450">https://doi.org/10.1093/jxb/ery450</a>	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 Ishishita Kazuhiro, Higa Takeshi, Tanaka Hidekazu, Inoue Shin-ichiro, Chung Aeri, Ushijima Tomokazu, Matsushita Tomonao, Kinoshita Toshinori, Nakai Masato, Wada Masamitsu, Suetsugu Noriyuki, Gotoh Eiji	4. 巻 183
2. 論文標題 Phototropin 2 contributes to the chloroplast avoidance response at the chloroplast-plasma membrane interface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant Physiology	6. 最初と最後の頁 304 ~ 316
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1104/pp.20.00059">https://doi.org/10.1104/pp.20.00059</a>	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 Kihara Miki, Ushijima Tomokazu, Yamagata Yoshiyuki, Tsuruda Yukinari, Higa Takeshi, Abiko Tomomi, Kubo Takahiko, Wada Masamitsu, Suetsugu Noriyuki, Gotoh Eiji	4. 巻 133
2. 論文標題 Light-Induced Chloroplast Movements in <i>Oryza</i> species	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 journal of Plant Research	6. 最初と最後の頁 525 ~ 535
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://10.1007/s10265-020-01189-w">http://10.1007/s10265-020-01189-w</a>	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 Gotoh Eiji, Oiwamoto Kohei, Inoue Shin-ichiro, Shimazaki Ken-ichiro, Doi Michio	4. 巻 70
2. 論文標題 Stomatal response to blue light in crassulacean acid metabolism plants <i>Kalanchoe pinnata</i> and <i>Kalanchoe daigremontiana</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Botany	6. 最初と最後の頁 1367 ~ 1374
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jxb/ery450	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 Zhang Hanyong, Okii Erika, Gotoh Eiji, Shiraishi Susumu	4. 巻 50
2. 論文標題 High Mitochondrial Genome Diversity and Intricate Population Structure of <i>Bursaphelenchus xylophilus</i> in Kyushu, Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Nematology	6. 最初と最後の頁 281 ~ 302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21307/jofnem-2018-034	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 Gotoh Eiji, Suetsugu Noriyuki, Yamori Wataru, Ishishita Kazuhiro, Kiyabu Ryota, Fukuda Masako, Higa Takeshi, Shirouchi Bungo, Wada Masamitsu	4. 巻 178
2. 論文標題 Chloroplast Accumulation Response Enhances Leaf Photosynthesis and Plant Biomass Production	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant Physiology	6. 最初と最後の頁 1358 ~ 1369
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1104/pp.18.00484	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7件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 後藤栄治
2. 発表標題 A novel regulation in chloroplast movements
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 後藤栄治
2. 発表標題 林床植物の光環境適応戦略
3. 学会等名 三学会福岡例会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Eiji Gotoh, Noriyuki Suetsugu, Wataru Yamori, Masamitsu Wada
2. 発表標題 Chloroplast movement regulates trade-off between light harvesting and photoprotection under a fluctuating light environment
3. 学会等名 1st Japan-US Binational Seminar (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鄭愛梨、瀬戸口浩彰、和田正三、後藤栄治
2. 発表標題 葉緑体光定位運動では光のシグナルより炭酸ガス濃度が優先される
3. 学会等名 日本植物学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Eiji Gotoh, Kazuhiro Ishishita, Takeshi Higa, Shin'ichiro Inoue, Noriyuki Suetsugu, Masamitsu Wada
2. 発表標題 Chloroplast outer membrane-localized phototropin induces the chloroplast avoidance response
3. 学会等名 18TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON PLANT MEMBRANE BIOLOGY (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 後藤栄治、石下和宏、比嘉毅、井上晋一郎、末次憲之、和田正三
2. 発表標題 葉緑体外膜に局在するフォトトロピンは葉緑体逃避反応を誘導する
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 後藤栄治、木藪亮太、孫田佳奈瀬戸口浩彰、篠原慶規、久米篤、和田正三
2. 発表標題 林床植物の葉緑体光定位運動
3. 学会等名 日本植物学会
4. 発表年 2018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
--	---------------------------	-----------------------	----