

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K06324

研究課題名（和文）同一の遺伝子が異なる環境への適応を可能にするのか？：溪流沿いと蛇紋岩地を例に

研究課題名（英文）Can the identical gene allow adaptation to different environments? : Taking rheophytic and serpentine ecotypes as examples

研究代表者

福田 達哉 (Fukuda, Tatsuya)

東京都市大学・理工学部・教授

研究者番号：00432815

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）：植物はさまざまな環境に適応した形態で選択されており、河川沿いでは水流ストレスを避けるために葉身を細くした形態が報告されているが、葉身以外の形質の具体的な分化については不明な点が多い。葉柄の強度と柔軟性の違いを明らかにするために、ヤシャゼンマイとゼンマイの曲げ強度を比較を行った。その結果、ヤシャゼンマイの葉柄の強度はゼンマイよりも弱い、前者の曲がり方は後者より有意に大きかった。これらは、溪流沿い適応のための葉柄の柔軟性に関する最初の報告であり、葉身の形態と葉柄の柔軟性の両方の獲得が、突然の洪水によるストレスを低減に貢献し、河川沿いに侵入することを可能にしたことを示している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで河川沿いにおける植物の水流ストレスの低減戦略は、葉身が細くなる狭葉化のみで説明されていたものの、本研究は茎と葉身を繋ぐ葉柄に焦点を当てて解析した結果、葉柄が柔軟性を獲得していることが世界で初めて示すことができたために、今後は葉身だけではなく葉柄も含めた葉全体で評価することを可能にした。

研究成果の概要（英文）：Plants are selected in morphology adapted to various environments, and it has been reported that narrow leaves had been done for plant morphology in the rheophytic zone to avoid river current stress, but it remains unclear the specific differentiation in traits other than leaves in the rheophyte. To clarify the difference in petiole strength and flexibility to avoid the stress, we compared the bending strength between rheophytic *Osmunda lancea* and its allied inland species *O. japonica* (Osmundaceae). The results were that the strength of petioles in *O. lancea* was weaker than those of *O. japonica*, but the bending in the former was significantly greater in the latter. These are the first report on petiole flexibility for rheophytic adaptation, indicating that the acquisition of both pinnule morphology and petiole flexibility in *O. lancea* had led to avoid stress by sudden flooding and allowed this species to invade along rivers.

研究分野：生物多様性

キーワード：環境適応

1. 研究開始当初の背景

植物が多様な環境に対して形態的な適応を遂げることは、植物の生存戦略を考える上で最も重要な要素の一つである。これまでに申請者は植物の環境適応の研究として、様々な環境における植物の形態学的適応に関する解析を行ってきた。これらの研究は、葉を葉身と葉柄として分けた場合、葉身の形態学および解剖学的研究が中心であり、その結果から特定の環境における適応的な葉身形態や生理生態学的な適応の背景が明らかになってきた。しかし生育地における風などの物理的なストレスは葉からの過剰な蒸散に関する生理学的なストレスに關与するだけではなく、植物体の振動を引き起こす機械的ストレスにも關与し、機械的ストレスの強弱により葉身だけではなく選択される葉柄も適応的な形態を示すと考えられる。しかしこれまで、そのストレスの強弱までの關与を野外集団で示すことは難しかった。

2. 研究の目的

植物の葉において形態学的な特徴に乏しい葉柄が、多種多様な葉身の支持という役割だけではなく、環境適応の際の異なる機械的ストレスに対して最適な耐性戦略もしくは回避戦略を明らかにすることで、光合成の中心である葉身を維持するための適応過程に葉柄が重要な役割を持つことを示すことができる。そこで本研究では、葉柄の力学的適応形質の評価に關して、風ストレスの評価として海岸沿いの風の強い地域に生育するキク科植物のツワブキを、また増水時に水没する溪流帯と呼ばれる場所に生育する溪流沿植物であるシダ植物でゼンマイ科のヤシャゼンマイを水流ストレスの評価として用いることにより、茎や葉柄といった支持器官における力学的特性を明らかにし、植物の環境適応の際の葉身と葉柄による葉全体の適応過程を明らかにすることを目的として研究を行った。

3. 研究の方法

海岸沿いの風の指標として気象庁の気象観測システム(アメダス)のデータを用いるために、設置場所付近である千葉県勝浦市、神奈川県三浦市、平塚市、そして対照として内陸の川崎市のツワブキ集団を用いて解析を行った。形態学的解析としてそれぞれの葉柄の長さ、太さ、葉身の面積を計測し、葉柄は力学的計測を行った。さらに力学的計測後に葉身と葉柄はそれぞれ乾燥重を計測することで単位面積当たりの重さを算出した。

河川沿いの水流ストレスに対する葉柄の変化を明らかにするために、山梨県上野原市の鶴川の中流付近にてヤシャゼンマイを、またその上流においてヤシャゼンマイの近縁種であるゼンマイを採集した。これらの栄養葉を用いて、上述のツワブキと同様に形態学的解析に加え、葉柄の切片を用いたSEMによる横断面の微細構造の解析および解離法を用いた垂直面における細胞の解析を行い、その後力学的計測を行った。また力学的計測後に葉身と葉柄はそれぞれ乾燥重を計測することで単位面積当たりの重さを算出した。

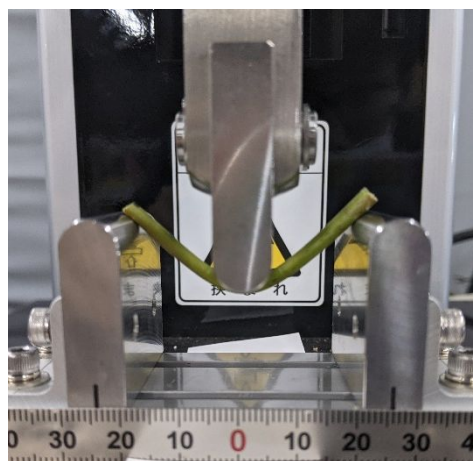


図1. 3点曲げ試験で葉柄を曲げている様子。

両種の力学的計測は、3点曲げ試験を用いることで(図1)、曲げ弾性率、曲げ強度、破断ひずみを算出し、比較を行った。

4. 研究成果

ツワブキの根出葉の葉身と葉柄に關連する要因に關して形態学および力学的解析を行った結果、葉柄の長さや葉柄の断面積が風速および破断強度と弱い相関関係を持ち、葉柄の二次断面二次モーメントが異なる集団間で大きく変わらないことを示したものの、葉身面積と葉柄断面積あたりの葉柄の長さは両方とも風速の増加とともに減少した。このことは、ツワブキは葉

柄の質的な変化を起こさずに、葉柄の断面積当たりの葉柄の面積と葉柄の長さを減少させることにより、風速の増加に抵抗または回避したことを示した。これまで植物に対する風の影響は、室内実験による風速コントロール下によって行われてきたが、本研究の複数地点のアメダス設置場所付近に生育する植物を比較することによって、野外における風速に対する研究も可能になったと考えられる。

大雨や台風といった豪雨による突発的な増水は、河川沿いに生育する植物にとってのストレスとなり、そのストレスを低減させる狭葉化した植物がそのような場所を占めることがある。このような植物は溪流沿い植物と呼ばれ、狭葉化の他にストレスを低減させる仕組みとして本研究では新たに葉柄に着目し、シダ植物の溪流沿い植物であるヤシャゼンマイを用いて機械学的および解剖学的解析を行った結果、ヤシャゼンマイは、近縁種のゼンマイよりも柔軟な葉柄を持つことが力学的解析の結果から明らかとなった(図2)。また比較解剖学的解析の結果から、ヤシャゼンマイの葉柄は表皮下の細胞体積が大きくなっており、これは葉柄が受ける力に対して長い支点間距離による大きな変位が可能となるため柔軟な葉柄となり、ヤシャゼンマイは狭葉化と葉柄の柔軟化によって水流ストレスを低減させていることが示された。

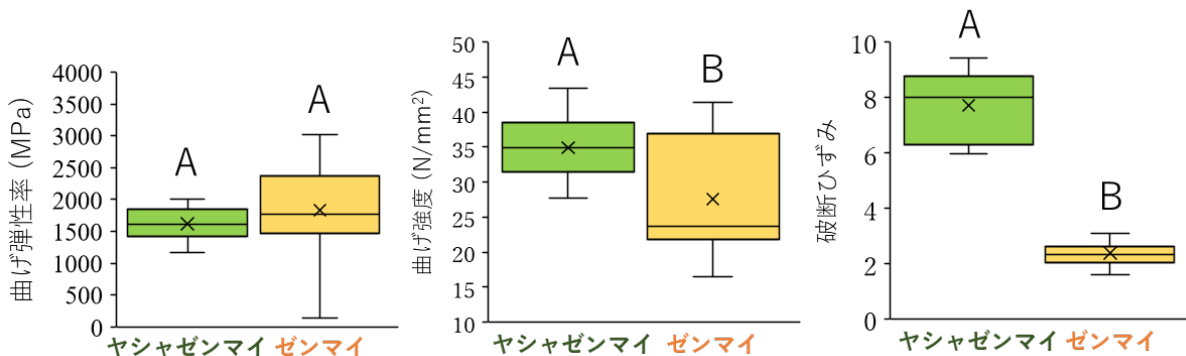


図2. ヤシャゼンマイ、ゼンマイの力学的解析の結果.

また、細胞が大きくなることは葉柄内の細胞壁量を低下させるために、葉柄が支持する葉身のサイズにも影響するが、ヤシャゼンマイは狭葉化によって葉身を軽くしているために(図3)、葉柄の細胞壁量が減っても葉身を支持できるだけの重さになっていると考えられる。そのためにこれまで溪流沿い植物は河川的水流ストレスに対して、地上部の支持器官は強靭さや柔軟性を獲得しているということを示した。

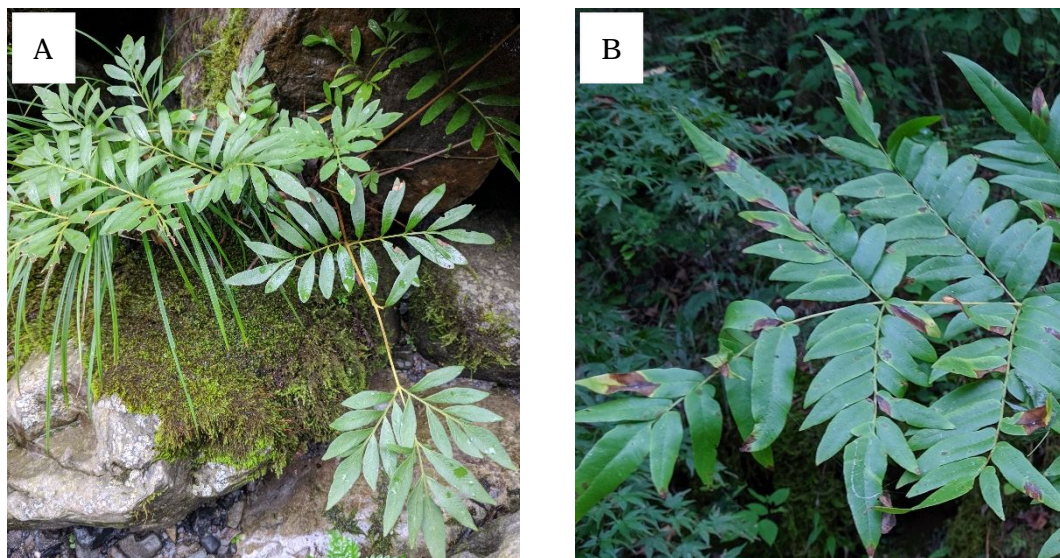


図3. 溪流沿い植物(A)ヤシャゼンマイと近縁種ゼンマイ(B).

これまでの溪流沿い植物への分化が狭葉化で説明されるものが多かったものの、本研究を基に葉柄や茎といった地上部の他の器官に関する議論も可能であることを示した。世界中には多くの溪流沿い植物が知られているために、本研究の方法をそれらの植物に導入することで、並行的に出現している溪流沿い植物の分化に関する相同性の議論が期待されることに加え、近年、シロイヌナズナといったモデル植物を中心に機械的な振動に対する茎の変化に関する遺伝学的研究結果が蓄積されつつあり、具体的な遺伝子レベルの研究への発展が期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Shiba M, Mizuno T, Fukuda T	4. 巻 14
2. 論文標題 Effect of strong wind on laminas and petioles of <i>Farfugium japonicum</i> (L.) Kitamura var. <i>japonicum</i> (Asteraceae)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontier in Plant Science	6. 最初と最後の頁 1182266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpls.2023.1182266	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 Marui Y, Takizawa E, Shiba M, Yoshizaki S, Fukuda T	4. 巻 15
2. 論文標題 Seed germination and seedling emergence of <i>Lysimachia mauritiana</i> Lam. (Primulaceae)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Biology	6. 最初と最後の頁 13-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5539/ijb.v15n1p13	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 Inoue TA, Hitomi Otani H, Niihara K, Fukuda T	4. 巻 39
2. 論文標題 Inventory of leaf and flower odorants in plants associated with the life cycle of Japanese <i>Papilio</i> butterflies	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Agricultural and Biological Research	6. 最初と最後の頁 441-448
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35248/0970-1907.23.39.441-448	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 Suzuki A, Ochi T, Ikeda Y, Sakai Y, Yoshizaki S, Fukuda T	4. 巻 64
2. 論文標題 Development of teaching materials for junior high school and high school classes on the decomposition of organic matter using bamboo culms	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Biological Education	6. 最初と最後の頁 47-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24718/jjbe.64.1_47	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 Shiba M, Tate T, Fukuda T	4. 巻 11
2. 論文標題 Leaf anatomical adaptations of <i>Eurya japonica</i> Thunb. (Pentaphylacaceae) in coastal habitats	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Plant Studies	6. 最初と最後の頁 31-41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5539/jps.v11n1p31	査読の有無 無
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 Takizawa E, Tate T, Shiba M, Ishii C, Yoshizaki S, Fukuda T	4. 巻 21
2. 論文標題 Coastal adaptation of <i>Ligustrum japonicum</i> Thunb. (Oleaceae)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Japanese Society of Coastal Forest	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Shiba M, Tate T, Fukuda T	4. 巻 14
2. 論文標題 Serpentine adaptative of <i>Ligustrum japonicum</i> Thunb. (Oleaceae) based on morphological and anatomical approaches	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Biology	6. 最初と最後の頁 10-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5539/ijb.v14n2p10	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 Shiba M, Tate T, Fukuda T	4. 巻 11
2. 論文標題 Adaptative leaf morphology of <i>Eurya japonica</i> Thunb. (Ternstroemiaceae) in serpentine areas	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Plant Studies	6. 最初と最後の頁 10-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5539/jps.v11n1p10	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 Ishii C, Shiba M, Kumekawa Y, Fukuda T	4. 巻 14
2. 論文標題 Seed germination and seedling emergence of <i>Canavalia lineate</i> (Thunb.) DC. (Fabaceae)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Biology	6. 最初と最後の頁 8-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5539/ijb.v14n1p8	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 Kumekawa Y, Fujimoto H, Miura O, Arakawa R, Yokoyama J, Fukuda T	4. 巻 153
2. 論文標題 Morphological and molecular phylogenetic analyses of <i>Zepetanulus ishikawai</i> (Arachnida: Opiliones: Laniatores: Epedanidae) in the southern part of the Ryukyu Archipelago	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Canadian Entomologist	6. 最初と最後の頁 800-827
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4039/tce.2021.42	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 Shiba M, Tate T, Fukuda T	4. 巻 13
2. 論文標題 Rheophytic adaptation of <i>Eurya japonica</i> Thunb. (Ternstroemiaceae)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Biology	6. 最初と最後の頁 65-73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5539/ijb.v13n2p65	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 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 柴政幸、福田達哉
2. 発表標題 溪流沿い植物の支持器官における柔軟性獲得メカニズム
3. 学会等名 第86回日本植物学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 瀧澤英一、楯智樹、柴政幸、吉崎真司、福田達哉
2. 発表標題 海岸地におけるネズミモチの形態学的適応様式
3. 学会等名 第86回日本植物学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 水野九十九、柴政幸、福田達哉
2. 発表標題 海岸地におけるツワブキの形態学的適応様式
3. 学会等名 第86回日本植物学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柴政幸、飯島正徳、福田達哉
2. 発表標題 環境適応における力学的背景：溪流沿い植物を例に
3. 学会等名 第85回日本植物学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井知希、柴政幸、福田達哉
2. 発表標題 海流散布種子植物ハマナタマメの北限に関する生態学的研究
3. 学会等名 第21回日本海岸林学会
4. 発表年 2021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
---------	---------