

令和 6 年 5 月 27 日現在

機関番号：37603

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K15154

研究課題名(和文)モウセンゴケ属の素早い花閉鎖運動は、対植食者防御として効果的か？

研究課題名(英文)Is rapid flower closure of Drosera effective for defense against herbivores?

研究代表者

田川 一希 (Tagawa, Kazuki)

宮崎国際大学・教育学部・准教授

研究者番号：90830399

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、食害に应答したモウセンゴケ属の素早い花閉鎖運動が、スペシャリスト植食者であるモウセンゴケトリバの食害に対する防御として有効であることを示した。具体的には以下の点が明らかになった。(1) トウカイコモウセンゴケは食害に应答し、概日時計による閉鎖の9倍の速度で花を閉じた。(2) 花の閉鎖はモウセンゴケトリバの花内部への移動を物理的に妨げた。(3) 閉鎖する花では、閉鎖をレジンで阻害した花と比較して、胚珠食害率が統計学的に有意に低くなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般的に植物は動物と比較してゆっくりと運動する。しかし、中には接触刺激に应答して素早く運動する植物も存在する。このような植物の運動の生態学的意義についてはほとんど分かっていなかった。本研究では、モウセンゴケ属の花閉鎖運動を題材として、植物の素早い運動がスペシャリスト植食者に対する防御効果をもたらすことを初めて定量的に示した。モウセンゴケ属の花閉鎖速度には種間・地域間で変異が存在するため、今後、食害圧と関連した植物の素早い運動の適応進化について、総合的に明らかにできる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：This study demonstrated that the rapid flower closure of Drosera in response to herbivory is effective as a defense against the specialist herbivore *Buckleria paludum* caterpillar. Specifically, the following points were revealed: (1) *Drosera tokaiensis* closed its flowers nine times faster than during natural circadian closure; (2) the flower closure physically hindered the movement of *B. paludum* into the flowers; (3) the extent of damage to ovules was significantly reduced when the flowers were able to close compared with the condition in which closure was physically inhibited by the application of a resin.

研究分野：植物生態学

キーワード：植物の運動 食虫植物 誘導防御 物理的防御 モウセンゴケ属

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

植物の中には、接触刺激に応じて素早く運動する種が存在する。これまで、こうした運動は主に葉で確認されていた(例えば、オジギソウの葉の閉鎖運動)。しかし、2018年に申請者は、食虫植物のモウセンゴケ属で花の閉鎖運動を発見した(図1; Tagawa *et al.* 2018 *Plant Species Biology*)。モウセンゴケ属の一部の種は、がくや果実に対する接触刺激に応じて、2~10分程度で花を閉鎖するのである。



図1. トウカイコモウセンゴケのがくに接触刺激を与えた後の変化。(Tagawa *et al.* 2018 より引用)

a.刺激前, b.刺激2分後, c.刺激3分後, d.刺激5分後

一般的に、花閉鎖が誘導される要因には、内的要因(生物時計など)と外的要因(光量・湿度・気温の変化や送粉者の訪問など)がある。外的要因がもたらす花閉鎖の適応的意義の例としては、湿度の上昇や気温の低下に反応して花を閉鎖することで、雨や雪から繁殖器官を保護するケースがある。また、送粉者の訪問後に花を閉鎖することで、送受粉が完了した花の維持コストを削減し、同じ株内の花間で送粉者をめぐる競争が発生することを防ぐケースもある。申請者が発見したモウセンゴケ属の花閉鎖運動は、晴天時に引き起こされるため、天候の変化に対する反応とはいえない。また、おしべやめしべに刺激を与えても誘導されないため、送粉者の訪問に対する反応である可能性も低い。しかし、繁殖器官である花を閉鎖すると他家受粉の機会が減り、繁殖にネガティブな影響が出ると考えられるため、モウセンゴケ属の花閉鎖運動にはこのコストを上回る何かしらの利益があると推測される。

接触刺激に応じて葉が閉鎖するオジギソウでは、閉鎖運動が植食者に対する防御として機能すると考えられてきた(Braam 2005)。具体的には、植食者である昆虫の訪問に応答して運動することで、葉の存在をわかりにくくしたり、昆虫を驚かせたりして食害を防ぐとされている。そこで申請者は、モウセンゴケ属の花閉鎖運動も、植食者から繁殖器官を保護する上で適応的であるという仮説を立てた。モウセンゴケ属の花を食べる植食者としては、モウセンゴケトリバというガの幼虫が挙げられる。モウセンゴケトリバは3~4齢になると頻繁に花や果実を食べようになる。もし、モウセンゴケトリバの幼虫が接近したり摂食したりする刺激に応答して花が閉鎖するならば、花の内部にある胚珠を食害から保護できるかもしれない。

予備実験の結果、モウセンゴケトリバの幼虫が花茎上を這うだけでは花閉鎖は誘導されないが、彼らが果実や花、つぼみを摂食すると、花閉鎖が誘導されることが明らかになった。このことを踏まえ、本研究では「モウセンゴケトリバの食害に応答したモウセンゴケ属の花閉鎖運動は、誘導物理的防御として効果的か?」という問いを検証することにした。

### 2. 研究の目的

(1) 食害に応答したモウセンゴケ属の花閉鎖運動が、食害のネガティブな影響を緩和する効果を定量化すること、(2) モウセンゴケ属の種間・地域間で食害レベルと花閉鎖形質の関係を調べ、その適応進化の実態を明らかにすることである。

### 3. 研究の方法

まず、花閉鎖運動が食害による適応度の低下を抑える効果を検証した。具体的には、花が閉鎖するトウカイコモウセンゴケと、工作用レジンを用いて花弁間を接着し花閉鎖を妨げたトウカイコモウセンゴケのそれぞれに、モウセンゴケトリバの幼虫を登らせ、おしべ・めしべ・胚珠の食害状況および結実種子数を定量化した。この実験で、閉鎖する花は閉鎖しない花と比較して、繁殖器官が食べられにくいという結果が得られれば、花閉鎖運動が食害のネガティブな効果を緩和するうえで効果的といえるだろう。また、花閉鎖運動に関する基礎的なデータを得るため、ピンセットを用いた接触刺激が誘導する花閉鎖、モウセンゴケトリバの食害が誘導する花閉鎖、概日時計による花閉鎖の速度を定量化し比較した。次に、日本国内のモウセンゴケ属3種(トウカイコモウセンゴケ、コモウセンゴケ、モウセンゴケ)について、複数地点で採集を行い、実験室条件下で花閉鎖速度と閉鎖による防御効果を定量化した。また、タイに自生するクルマバモウセンゴケの花閉鎖に関して基礎的なデータを収集するため、現地で予備的な野外実験を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) トウカイコモウセンゴケの花閉鎖運動の特徴と防御効果

トウカイコモウセンゴケは、モウセンゴケトリバによる花、果実、蕾、花茎の食害に応じて花を閉鎖した。その閉鎖速度は、概日時計に従って閉鎖した場合の9倍、ピンセットによる接触刺激に反応して閉鎖した場合の1.5倍であり、食害が刺激となって素早い花閉鎖運動が引き起こされることが明らかになった。

モウセンゴケトリバによって胚珠が食べられた花の割合は、閉鎖を妨げた花では100%であったのに対し、閉鎖する花では50%程度であった(図2)。また、胚珠が食べられた場合でも、モウセンゴケトリバが花の直下に到達し胚珠に移動するまでの時間は、閉鎖する花で統計学的に有意に長くなった(図2)。

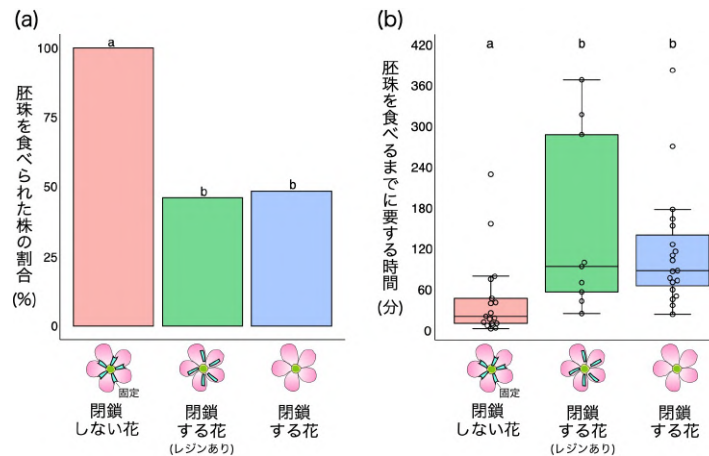


図2. トウカイコモウセンゴケの閉鎖する花と閉鎖しない花での防御効果 (Tagawa et al. 2023 より改変引用)

閉鎖しない花、閉鎖する花(レジンあり)、閉鎖する花のサンプル数はそれぞれ20, 13, 36。異なるアルファベットは処理間で統計学的に有意な違いがあることを示す。

a. 胚珠が食べられた花の割合。b. 花の直下に到達し胚珠に移動するまでに要する時間。

これは、トウカイコモウセンゴケの花閉鎖運動によって、モウセンゴケトリバの花外側から子房への移動が妨げられたためと考えられる(図3)。以上の結果から、食害に反応したトウカイコモウセンゴケの花閉鎖運動は、モウセンゴケトリバの子房への移動・胚珠の摂食を物理的に阻害し、トウカイコモウセンゴケの繁殖成功度の低下を防ぐ機能があることが示唆された。

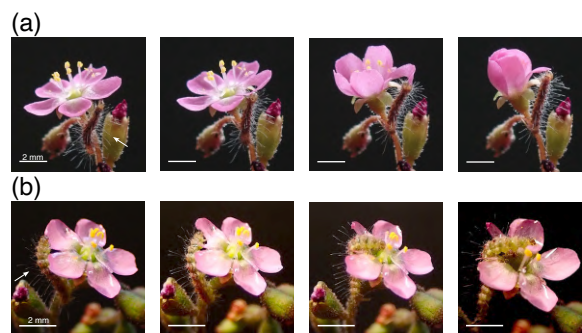


図3. トウカイコモウセンゴケの花閉鎖運動とモウセンゴケトリバの行動 (Tagawa et al. 2023 より改変引用)

a. 閉鎖する花での様子。左から0, 2, 4, 6分後。食害に反応して花弁が子房を覆い隠す。

b. 閉鎖しない花での様子。左から0, 2, 8, 20分後。容易に花の上側に移動して子房を食べる。

これらの内容をまとめ *Biology Letters* 誌に投稿し、受理された (Tagawa et al. 2023)。また、日本生態学会、種生物学会、日本植物学会で発表を行った。さらに、研究成果をもとに高校生向けの教育プログラムの開発・実践を行い、日本生物教育学会で発表を行った。

##### (2) 花閉鎖運動の形質と防御効果の種間比較

日本に自生するトウカイコモウセンゴケ、コモウセンゴケ、モウセンゴケについて、実験室条件下で花閉鎖運動の速度を定量化した結果、トウカイコモウセンゴケはコモウセンゴケ、モウセンゴケと比較して素早く閉鎖することが明らかとなった。トウカイコモウセンゴケとモウセンゴケについて、モウセンゴケトリバを花茎に登らせた際に胚珠が食べられる割合を比較したところ、有意な違いは確認されなかった。ただし、十分なサンプル数を確保できていないため、今後追加で実験を行い検証する必要がある。タイに自生するクルマバモウセンゴケについて、現地

で接触刺激を与える実験を行った結果、日本に自生する3種と同様に閉鎖運動が確認された。これらの結果をまとめ、日本植物学会で発表を行った。

### (3) 関連する研究成果

タイにおいて(2)の研究を行っている際に、クルマバモウセンゴケと同所的に自生するモウセンゴケ属 *Drosera indica* について、関連する課題を見出し研究を行った。具体的には、タイに自生し赤い粘毛を持つ *D. indica* と、日本に自生し白い粘毛を持つ近縁種 *D. toyoakensis* について、捕獲する餌昆虫の分類群組成を比較した。この結果、小さなハエ目がメインの餌であることは2種で共通していたが、*D. toyoakensis* はそれに加えてより大きなハエ目やチョウ目、甲虫目を捕獲することが分かった。これらの結果をまとめ *Plant Species Biology* 誌に投稿し、受理された (Tagawa *et al.* 2024)。

### <引用文献>

- Braam, J. (2005). In touch: plant responses to mechanical stimuli. *New Phytologist*, 165(2), 373-389.
- Tagawa, K., Watanabe, M., & Yahara, T. (2018). A sensitive flower: mechanical stimulation induces rapid flower closure in *Drosera* spp. (Droseraceae). *Plant species biology*, 33(2), 153-157.
- Tagawa, K., Osaki, H., & Watanabe, M. (2022). Rapid flower closure of *Drosera tokaiensis* deters caterpillar herbivory. *Biology Letters*, 18(10), 20220373.
- Tagawa, K., Sando, T., Aoki, M., & Watanabe, M. (2024). Comparison of prey fauna in tropical red traps versus temperate whitish traps in carnivorous *Drosera indica* complex (Droseraceae). *Plant Species Biology*, 29(3), 173-180.

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 0件）

1. 著者名 Tagawa Kazuki, Sando Tomoki, Aoki Masao, Watanabe Mikio	4. 巻 39
2. 論文標題 Comparison of prey fauna in tropical red traps versus temperate whitish traps in carnivorous <i>Drosera indica</i> complex (Droseraceae)	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Plant Species Biology	6. 最初と最後の頁 173 ~ 180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1442-1984.12451	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 Tagawa Kazuki	4. 巻 38
2. 論文標題 Floral hairs of <i>Tradescantia fluminensis</i> (Commelinaceae) manipulate behavior of hoverflies for effective pollination	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Plant Species Biology	6. 最初と最後の頁 277 ~ 282
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1442-1984.12429	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 Tagawa Kazuki, Osaki Haruka, Watanabe Mikio	4. 巻 18
2. 論文標題 Rapid flower closure of <i>Drosera tokaiensis</i> deters caterpillar herbivory	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Biology Letters	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) 10.1098/rsbl.2022.0373	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 Tagawa Kazuki, Sahara Yurie, Watanabe Mikio	4. 巻 37
2. 論文標題 Breeding systems of the <i>Japanese</i> endemic carnivorous sundew and <i>Drosera makinoi</i> ( <i>Drosera toyoakensis</i> ) (Droseraceae)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant Species Biology	6. 最初と最後の頁 148 ~ 153
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1442-1984.12352	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8件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 田川 一希、坂倉 真衣、青山 りら、櫛田 敏宏、渡邊 幹男
2. 発表標題 「さわると閉じる花の発見」を追体験する探究型教育プログラム開発と評価
3. 学会等名 日本生物教育学会第108回全国大会（横浜）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 渡邊 幹男、山東 智紀、青木 雅夫、田川 一希
2. 発表標題 タイに自生する2タイプの食虫植物 ( <i>Drosera indica complex</i> ) の特徴
3. 学会等名 日本植物分類学会第23回全国大会（仙台）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 田川 一希、大崎 遥花、渡邊 幹男
2. 発表標題 モウセンゴケ属の花閉鎖速度の種間変異と食害圧の関係
3. 学会等名 日本生態学会第71回全国大会（横浜）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 田川 一希、大崎 遥花、渡邊 幹男
2. 発表標題 モウセンゴケ属の花閉鎖運動の種間変異： 食べられやすい花は速く閉じるか？
3. 学会等名 日本植物学会第87回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊 幹男、田川 一希
2. 発表標題 愛知県の湿地における食虫植物の生存戦略
3. 学会等名 第55回種生物学シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田川 一希、大崎 遥花、渡邊 幹男
2. 発表標題 トウカイコモウセンゴケの素早い花閉鎖は食害を抑制する
3. 学会等名 日本生態学会第70回全国大会（仙台）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田川 一希、大崎 遥花、渡邊 幹男
2. 発表標題 モウセンゴケ属の素早い花閉鎖は対植食者防御として効果的か？
3. 学会等名 日本生態学会第69回全国大会（福岡）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田川 一希、大崎 遥花、渡邊 幹男
2. 発表標題 モウセンゴケ属の素早い花閉鎖は、対植食者防御として効果的か？
3. 学会等名 日本植物学会第85回全国大会（東京）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

本学教員の論文が英国王立協会の国際学術誌にオンライン掲載されました。  
<https://www.mic.ac.jp/news/archives/1345>

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