

第10回研究助成

地下茎雑草の強みを逆手に取る画期的雑草防除法の開発

研究代表者

経塚 淳子 東北大学大学院 生命科学研究所

共同研究者

野村 崇人 宇都宮大学 バイオサイエンス教育研究センター

佐藤 彩人 名古屋大学 トランスフォーマティブ生命分子研究所



1. 研究の背景と達成目標

作物栽培は雑草との戦いである。一般的な除草剤は、光合成や呼吸など、植物の基礎代謝を抑制して雑草を死滅させる。しかし、雑草も作物も植物であり、共通の法則に従って成長するうえに、雑草としてはびこる植物は作物に比べて繁殖力が圧倒的に強く、悪環境下でもたくましく育つ。このため、雑草のみを効率よく選択的に死滅させることは容易ではない。そこで、申請者は、雑草だけを効果的に抑えるためには、雑草の驚異的な生命力を支える成長メカニズムを理解し、逆にそれを利用する防除法を開発するという発想の転換が必要であると考えた。

植物は、動物とは異なり、成長過程で茎上に幹細胞をもつ芽(腋芽)を増やし、生涯にわたり成長を続ける。腋芽が次々につくられ、伸長し、枝葉を伸ばし茂らせるという成長様式が、植物の繁茂の根本原理である。植物には、タケやイチゴのように、横方向に伸びる茎と上方に伸びる茎をもつ種類がある。なかでも、スギナ、ドクダミ、イネ科雑草など、防除が非常に難しい多くの雑草は、横方向に伸びる茎を地下茎として地中に這わせて成長する。地下茎が地中を伸び、伸びた先で腋芽が地上に出て成長するため、個体の生育域が劇的に拡大する。また、夏に作られた腋芽は、冬は地中で休眠し、春になって環境が良くなると休眠が解除され、一斉に伸長を開始して地上部で繁茂する。このように、地下茎性は旺盛に増殖するうえできわめてすぐれた成長様式であり、地下茎腋芽の休眠と伸長の適切な制御が旺盛な増殖のかなめである。特に、生育に適さない環境下では地下茎腋芽が地中で休眠するという性質が地下茎雑草に頑強さをもたらしている。そこで、地下茎雑草の腋芽の成長を人為的にかく乱できれば、選択性の高い効果的な雑草防除が可能になると考えた。

植物の成長制御において中心的な役割を担うのが植物ホルモンであり、その多くは低分子有機化合物である。植物中には未知の植物ホルモンがまだまだ多数存在すると予想される。これまで雑草防除の観点から地下茎の成長調節物質の探査がなされたことはほとんどなく、地下茎腋芽休眠を解除する新規物質の発見は十分期待できる。ストリゴラクトンは2008年に報告された腋芽の伸長を抑制するホルモンであるが、地下茎腋芽への効果は不明である。ストリゴラクトン作用のかく乱が、地下茎腋芽の休眠解除に有効である可能性も高い。本研究では、低分子有機化合物を用いて人為的に腋芽の休眠を解除し、成長を開始した植物体を死滅させることで地下茎雑草を防除するという新規雑草防除法の技術基盤を確立する。

2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

- ・ ドクダミ地下茎の芽(腋芽)伸長パターンを明らかにし、地下茎から腋芽を切り出して培養し、腋芽の伸長を評価する系を構築した。非モデル生物であるドクダミ研究の基盤となる重要な知見である。
- ・ ドクダミ腋芽の伸長が低温で抑制されることを明らかにした。
- ・ ケミカルライブラリー(3,100物質)をスクリーニングし、腋芽伸長抑制物質候補として2つの物質を特定した。
- ・ ケミカルライブラリーのスクリーニングからは腋芽伸長促進効果をもつ物質は見出されなかった。
- ・ ドクダミからのストリゴラクトン(腋芽伸長抑制ホルモン)の検出に成功した。
- ・ ストリゴラクトン合成とドクダミ地下茎の伸長との間に関連が見出されず、既報のストリゴラクトン阻害剤がドクダミ

地下茎腋芽の伸長に明確な効果を示さなかったことからストリゴラクトンは地下茎腋芽休眠制御には関わらないと結論した。

- ・ ストリゴラクトンが、陸上植物の共通祖先において、根から分泌されて土壤中の微生物とコミュニケーションする物質として起源したことを明らかにした。植物は多くの機能未知物質を合成していると予想され、それらの同定や進化研究が促進されると期待される。

3. 研究成果

(1) 地下茎腋芽休眠解除物質のスクリーニングとアッセイ

ドクダミ(図 1)は、地下にも茎(地下茎)を伸ばす。地下茎にはたくさんの芽(腋芽)がついており、冬に地上部が枯れても地下茎の腋芽は枯死せずに休眠し(図 2)、春になると伸長を再開する。まず、ドクダミ地下茎の腋芽伸長パターンを詳細に記載した(図3)。

解析した結果、地下茎についている腋芽のうち一部の腋芽のみが伸長し、①伸長して地上に出る、②地下を伸長し続ける、③先端が消失し成長を止める、のいずれかの成長パターンをとることが分かった(図 3)。ドクダミの地下茎は、ある程度伸長すると、一部の茎は地上に出る。地上に出る茎では、茎の成長ステージが急激に進行し、地上茎と同様の葉を形成するようになることを見出した。この現象には、植物の成長相進行の中心的制御因子である、miR156 が関わることを発見し、論文として報告した。



図 1. ドクダミ



図 2. 晩秋のドクダミ 地上部の葉は枯れているが(上)、地下の茎(右は地下茎の拡大)には多数の芽がある。

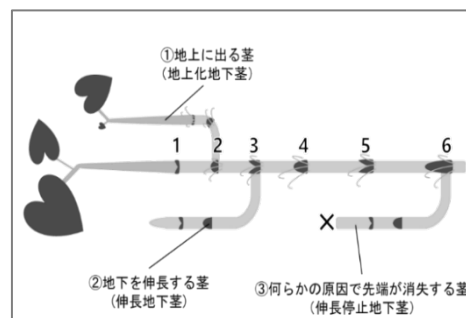
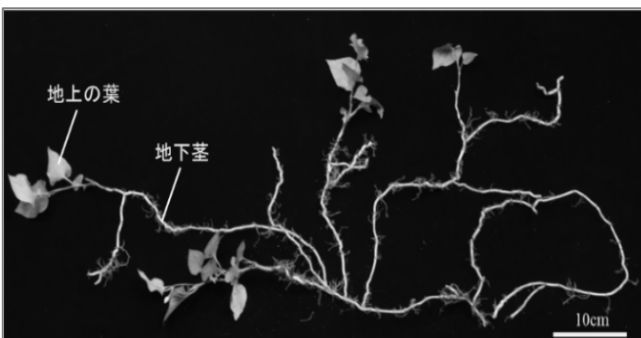


図 3. ドクダミの成長様式 左は地上茎と地下茎。右は成長様式の模式図

(2) 地下茎腋芽休眠解除物質の探索

地下茎から腋芽周辺の 5mm 部分を切り出して培養し、腋芽の伸長(休眠)を評価する系を構築した(図 4)。培養温度を調節することにより腋芽の伸長を調節できる(28℃ではほぼすべての腋芽が伸長し、4℃から 12℃では腋芽は伸長しない)ことから、腋芽伸長抑制物質のスクリーニングは 28℃で、腋芽を伸長させる物質(休眠解除物質)のスクリーニングでは 12℃で行った。3,100 の物質からなるケミカルライブラリーをスクリーニングしたところ、2 つの物質が腋芽伸長抑制物質として単離されたが(図 5)、腋芽伸長を促進する化合物候補は得られなかった。

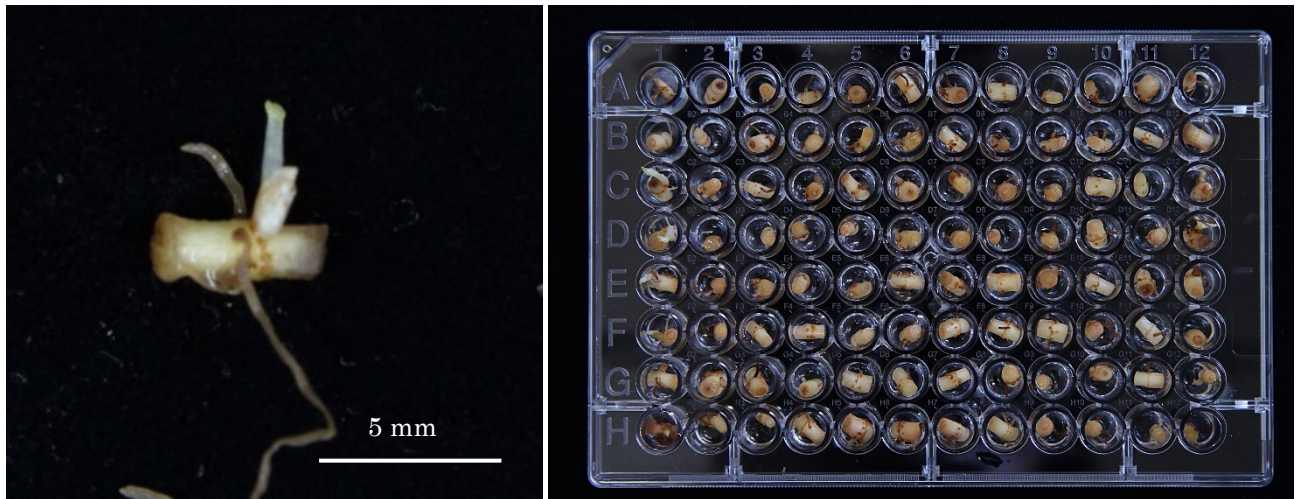


図 4. 腋芽伸長制御物質のスクリーニング
地下茎を約 5 mm の長さに切り出し(左)、96 穴プレートでケミカルスクリーニングを行った。

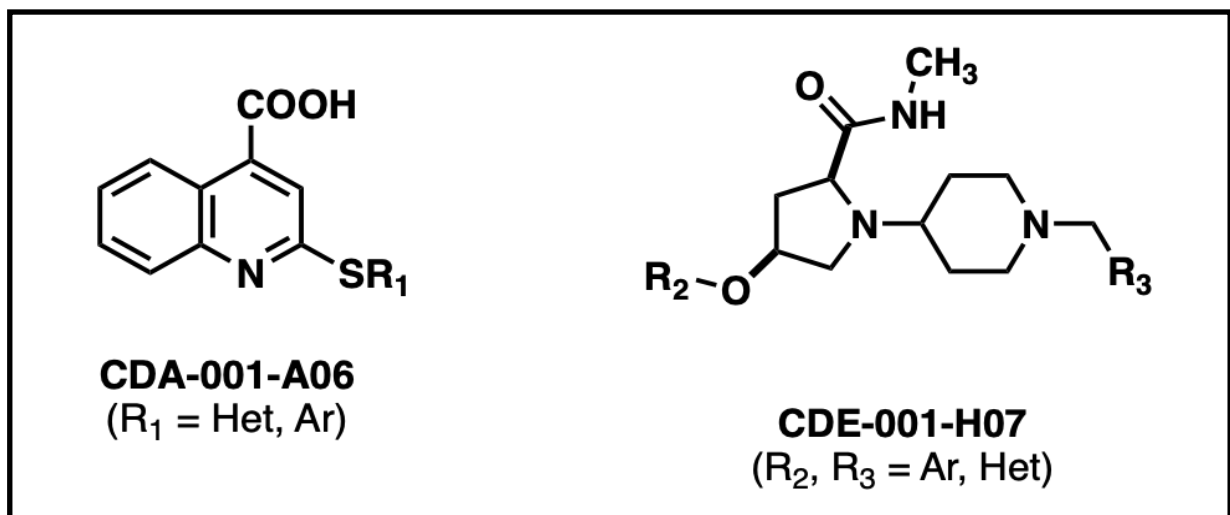


図 5. 腋芽伸長抑制物質として同定された 2 つの物質

左:キノリンカルボン酸誘導体。合成オーキシシン剤の一つであるキンクロラックとはカルボン酸の結合位置が異なる。活性は報告されていない。右:ヒドロキシピロリン誘導体の構造に類似する部分構造を有する化合物は化合物データベースに多数登録されているが、CDE-001-H07 は新規化合物である。活性は報告されていない。

(3) ストリゴラクトンによる地下茎腋芽休眠の制御

植物の成長制御において中心的な役割を担うのが植物ホルモンであり、その多くは低分子有機化合物である。ストリゴラクトンは腋芽の伸長を抑制するホルモンである。地下茎腋芽への効果は不明であるが、ストリゴラクトン作用のかく乱が地下茎腋芽の休眠解除に有効である可能性は高い。そこで、ドクダミ地下茎の腋芽に対するストリゴラクトンの効果を調べた。ドクダミからのストリゴラクトンの検出に成功したが、ストリゴラクトン合成とドクダミ地下茎の伸長との間に関連が見出されず、また、既報のストリゴラクトン生合成阻害剤 TIS108 や DL1 がドクダミの地下茎腋芽伸長に対して明確な効果を示さなかった。これらの結果を総合的に判断し、ストリゴラクトンは地下茎腋芽休眠制御には関わらないと結論した。

ストリゴラクトンは植物ホルモンであるが、根から分泌されて土壤中で他の微生物とのコミュニケーションを促す根圏の異種間シグナル物質でもある。植物ホルモンでもあり根圏シグナル物質でもあるというストリゴラクトンの二面的機能起源について、ストリゴラクトンは約 5 億年前に植物が陸上進出したころにはすでに根圏シグナル物質として機能していたこと、しかし受容体が進化していなかったために植物ホルモンとしては機能していなかったということを示した。これは、ストリゴラクトンが根圏でのシグナル物質として起源したことを意味する。その後、種子植物(裸子植物と被子植物)の共通祖先で受容体が出現したことによりストリゴラクトンは植物ホルモンとしても機能するようになった。ストリゴラクトンの受容体は KL という未同定の植物ホルモンの受容体 KAI2 の遺伝子重複により誕生した。

ドクダミの雑草としての増殖能力は、地下茎に作られる芽が増殖することによりもたらされている。すなわち、種子を作らずに増殖する栄養繁殖の能力である。ゼニゴケはドクダミ同様に難駆除雑草である。ゼニゴケは無性芽と呼ばれる増殖体を大量に形成し、非常に旺盛に栄養繁殖する。ゼニゴケの栄養繁殖には、先述の KL の作用が必要であり、KL が機能しないと栄養繁殖が起こらないことを発見した。KL は未同定ではあるが、KL の阻害剤候補は開発されており、この発見はゼニゴケ駆除の画期的な薬剤開発につながる可能性がある。

4. 今後の展開

雑草が雑草である所以はその旺盛な増殖力であり、進化の過程で巧妙な増殖力を獲得してきた。その起源、進化、分子基盤を明らかにすることは効果的な雑草防除につながるものと期待される。

5. 発表実績

【論文】

- 1) Luo L, Takahashi M, Kameoka H, Qin R, Shiga T, Kanno Y, Seo M, Itoh M, Xu G, **Kyozuka J.** (2019) Developmental analysis of the early steps in strigolactone-mediated axillary bud dormancy in rice. *Plant J.* 97(6): 1006-1021
- 2) Toriba T, Tokunaga H, Nagasawa K, Nie F, Yoshida A, **Kyozuka J.** (2020) Suppression of Leaf Blade Development by *BLADE-ON-PETIOLE* Orthologs Is a Common Strategy for Underground Rhizome Growth. *Curr Biol.* 30(3):509-516.
- 3) Mizuno Y, Komatsu A, Shimazaki S, Naramoto S, Inoue K, Xie X, Ishizaki K, Kohchi T, **Kyozuka J.** (2021) Major components of the KARRIKIN INSENSITIVE2-dependent signaling pathway are conserved in the liverwort *Marchantia polymorpha*. *Plant Cell* 33(7):2395-2411.
- 4) Kodama K, Rich MK, Yoda A, Shimazaki S, Xie X, Akiyama K, Mizuno Y, Komatsu A, Luo Y, Suzuki H, Kameoka H, Libourel C, Keller J, Sakakibara K, Nishiyama T, Nakagawa T, Mashiguchi K, Uchida K, Yoneyama K, Tanaka Y, Yamaguchi S, Shimamura M, Delaux P-M, Nomura T, **Kyozuka J.** (2022) An Ancestral Function of Strigolactones as Symbiotic Rhizosphere Signals. *Nat Commun.* 13(1):3974.
- 5) Komatsu A, Kodama K, Mizuno Y, Fujibayashi M, Naramoto S, **Kyozuka J.** (2023) Control of vegetative reproduction in *Marchantia polymorpha* by the KAI2-ligand signaling pathway. *Curr Biol.* Epub ahead of print.

【学会発表】

- 1) 鳥羽大陽、徳永浩樹、志賀敏秀、**経塚淳子** 「Shoot branching and development under the ground - Studies on rhizome formation in a wild rice species, *Oryza longistaminata*」、第 59 回日本植物生理学会年会、シンポジウム発表、札幌コンベンションセンター、札幌 2020 年 3 月 28-30 日
- 2) 鳥羽大陽、徳永浩樹、長澤一真、轟凡雨、吉田明希子、**経塚淳子** 「Suppression of Leaf Blade Development by *BOP* Orthologs Is a Common Strategy for Rhizome Growth」、日本植物学会第 84 回大会、オンライン 2020 年 9 月 19-21 日
- 3) **経塚淳子** 「ストリゴラクトンの二面的機能の起源と進化」、植物科学シンポジウム、オンライン 2021 年 11 月 30 日
- 4) **Junko Kyozuka**, Aino Komatsu, Kyoichi Kodama, Kazato Kumagai, Hidemasa Suzuki 「Control of vegetative reproduction by KL signaling in *Marchantia polymorpha*」第 63 回日本植物生理学会年会、オンライン 2022 年 3 月 22-24 日