

都市と農地における雑草の急速な進化と防除への影響

東京大学大学院
農学生命科学研究科
附属生態調和農学機構
深野 祐也

はじめに

動けない植物にとって、近隣植物との光をめぐる競争は、自身の成長や種子生産に影響する非常に重要な要因である。それゆえ、競争者の存在や密度は、植物の形質を進化させる強い選択圧になると予想される。しかし、意外なことに、植物が競争者に対してどのように適応進化するのか、またその適応にどのような形質が関わっているか未解明であった。われわれは、都市と農地の競争という観点から見た時に対照的な生育環境の集団を比較することで、植物の競争者に対する適応進化を検証できることに気が付いた。本稿では、都市と農地における雑草の急速な進化に関して、最近発表した我々の研究を紹介する (Fukano *et al.* 2020)。加えて、農地集団における適応進化がなんらかの形質変化を伴うならば、その形質進化はその植物の防除効率に影響



図-1 東京大学本郷キャンパス赤門前のメヒシバとエノコログサ

する可能性ある。本稿では、形質進化が雑草の防除効率に与える影響も紹介する。

作物の栽培のために作り出された農地やその周辺は、多くの植物にとって理想的な環境である。それゆえ、農地周辺では植物は旺盛に成長し、光をめぐる競争が激しくなる。一方で、東京のような都市の路傍はコンクリートやアスファルトに覆われ、土壌が貧弱である。そのため、都市に定着できた植物は、競争者が少なく光をめぐる競争が弱いだらう (図-1)。つまり競争という植物間相互作用に注目したとき、農地と都市は対照的な環境と言える。そして、もし光をめぐる競争が植物に強い選択圧として働いているならば、都市と農地の集団は異なる競争環境に局所適応しており、なんらかの形質が急速に分化しているだろう。

そこでわれわれは、農地の代表的な雑草であり、都市の路傍にも普通に生育している一年生のイネ科雑草メヒシバ *Digitaria ciliaris* をモデルとして研究を行った (Fukano *et al.* 2020)。もしメヒシバが、農地と都市の競争環境に局所適応しているならば、農地を模した高い競争条件で栽培した場合には農地系統が有利になる一方で、都市を模した競争がない条件で栽培した場合には都市系統が有利になるだろう。さらに本研究では、メヒシバの局所適応に関わる形質を探索するとともに、形質進化がロータリー耕による雑草防除に与える影響を調査した。

1. 方法と結果

本研究では、地上部の競争に注目しメヒシバの農地と都市への局所適応を検証しその局所適応に関わる形質を特定するために、野外調査と採集した種子を用いた栽培実験を行った。加えて、農地での形質進化が農地雑草としてのメヒシバの防除に与える影響を調べるため、ロータリー耕起実験を行った。

(1) 野外調査

都市と農地のメヒシバで、地上部の競争の程度が異なるかどうか検証するため、コドラート調査を行い周囲 50 cm の他個体の被度を測定した。その結果、都市のメヒシバの多くは他個体の被度が低く、周囲に光を巡る競争者が少ない一方で、農地のメヒシバは被度が高く周囲に多くの競争者がいることが確認できた (図-2)。

(2) 競争実験

関東近辺の都市部 5 集団と農地 8 集団からメヒシバの種子を採集し、系統を作出したのち競争実験に用いた。同一条件でそれぞれの系統を播種、発芽させ、それぞれ高密度・低密度条件で栽培した。その結果、予測通り、高密度条件では農地系統の方が都市系統よりも成長がよく、低密度条件では都市系統の方が農地系統よりも成長がよいという明確なトレードオフが検出された (図-3)。ここでは、成長の指標としてバイオマスで評価している



図-2 メヒシバの野外調査
 (a) 農地と都市におけるメヒシバのコドラート調査の様子
 (b) 農地と都市のメヒシバ個体周囲50cm四方の植被率の比較



図-3 個体間競争の程度が低い低密度条件（左）と、個体間競争の程度が高い高密度条件で栽培した時のメヒシバの成長量各点は、集団の平均値をあらわす。

が、メヒシバはバイオマスと種子生産に高い相関があるため、バイオマスを適応度の指標として捉えることもできるだろう (Kobayashi & Oyanagi 2005)。

(3) 関与形質の探索

メヒシバの都市系統は低密度、農地系統は高密度で有利という局所適応に関わる形質を探索するために、競争がほとんどない低密度条件で農地・都市系統を栽培し、草高・草幅・葉身長・葉幅・分げつ数・茎の直径など草

姿に関わる形質を測定した。農地系統と都市系統で様々な形質を比較した結果、草丈・草幅が大きく異なることが分かった (図-4)。農地系統は草高が高く草幅が狭い直立的な草姿をしていた。一方、都市系統は草高が低く草幅が広い匍匐型の草姿をしていた。また、直立型の草姿をしている個体ほど茎の直径が太いこともわかった。この実験では栽培条件が一定であるので、ここで見られる農地系統と都市系統の違いは遺伝的な違いであるといえる。

(4) ロータリー耕への影響

畑地の主要な雑草であるメヒシバはロータリー耕によって防除されることがあるが、ロータリー耕では雑草個体を細かく切断して土壌に埋没させることが効果的に防除するために必要である (図-5)。メヒシバでは、茎の直径が太いほど、その切断に強い力が必要であった (図-6)。そのため、茎の直径が太くなった農地系統は、ロータリー耕に耐性を持っている可能性がある。そこで、都市・農地系統のメヒシバを畑地圃場に移植し一定期間栽培した後、実験的にロータリー耕を行った。そして、耕うんの前後にドローン空撮を行い、各個体の植被面積を計算することで、各個体の生残を評価した。実験の結果、茎が太く直立型を示す個体ほど、ロータリー耕の後でも生残しやすいことがわかった (図-7)。つまり、農地の競争環境によって進化した太い茎を持つ直立型の草姿が、副次的にロータリー耕への耐性を与えたことを示唆する。

2. 考察とまとめ

ここで紹介した一連の結果は、農地や都市に生育する植物が局所的な競争環境に対して素早く進化することを示している。また、競争環境への適応には草姿が関わっていることを示した。農地系統で見られる直立型の草姿は、都市系統の匍匐型よりも草高が高いため、光を巡る競争に有利であろう。一方で、競争がない条件では、直立型

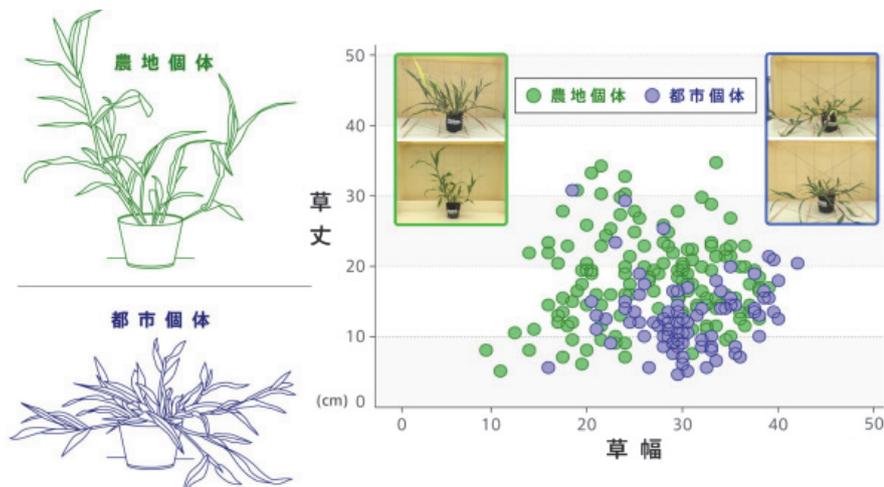


図-4 農地系統と都市系統の草丈と草幅

農地系統は草高が高く草幅が狭い直立型の草姿を示すのに対して、都市系統は草高が低く草幅が広い匍匐型の草姿を示す。



図-5 ロータリー耕で切断されたメヒシバの茎

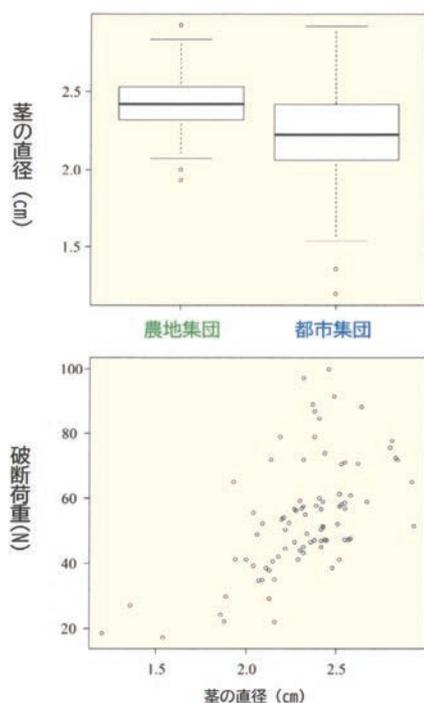


図-6 農地系統と都市系統の茎の太さの比較 (上) と、茎の太さと破断荷重の関係 (下)



図-7 圃場に移植したメヒシバに対して実験的にロータリー耕を行う様子 (上)。ロータリー耕の前後にドローン空撮を行った。

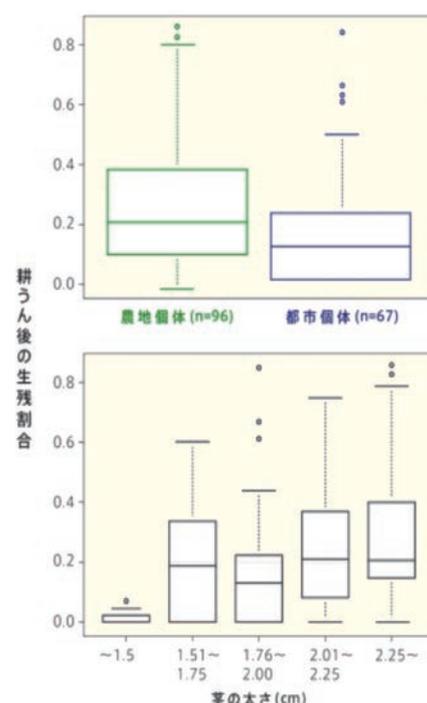


図-8 農地系統と都市系統メヒシバの実験的耕うん後の生残割合の比較 (上) と茎の太さとの関係 (下)

の個体は匍匐型の個体よりも投影葉面積が少ないため、光合成効率が低下するだろう。このような、競争環境に応じた最適な草姿の違いが、農地と都市系統で草姿の分化を生んだと考えられる。植物の密度が低いアスファルト・コンクリートに覆われた都市という環境は近年になって作られた環境であるため、今回の研究で見られたようなメ

ヒシバの草姿の分化は、数百年という短期間に生じた迅速な進化であろう (露崎 2005)。

この研究は、植物の競争に関わる形質を初めて実証的に示したという進化生態学的な貢献だけでなく、雑草学的にも重要な示唆を与える。これまで、農地において植物が急速に適応進化する事例の報告は、主に除草剤を選択圧

とした除草剤耐性雑草の進化に限られていた。我々の結果は、農地や都市の雑草は、除草剤のような人工的な新規の選択圧だけでなく、競争のような種間相互作用の変化に対しても急速に進化しようという点を示している。農地の雑草は、農業管理上の様々な選択圧を、様々な形質に受けているだろう。それらをつ一つ紐解くことで、農地

の雑草における形質進化が明らかになるかもしれない。そして、そのような農地における雑草の形質進化は雑草の防除効率にも影響している可能性がある。実際、農地の競争環境に適応することで、メヒシバはロータリー耕に強い耐性を持つようになっていた。

今後、都市と農地の雑草をモデルとした研究を推進することで、現在進行形の形質進化やその影響を実験的に検証することができると考えられる。例えば、今回報告した草姿の分化は当然メヒシバ以外の雑草でも起きている可能性がある。他の雑草種を対象に草姿を検証することで、都市と農地への“収斂”進化を検証することができる。また、競争環境以外にも、都市と農地

では大きく生物的・物理的環境が異なるだろう。例えば、都市と農地では、水分・栄養条件、植食者や送粉者の多さも異なるだろう。これらの違いが選圧となり、様々な雑草の都市と農地系統で形質群の進化を引き起こしているかもしれない。都市や農地などの人為環境に対する雑草の適応進化を解明することで、進化のプロセスという基礎科学的成果と、雑草のより効率的な管理という応用科学的な成果の両方に貢献できる。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金（18K14464）の支援により実施された。

参考文献

- Fukano, Y. *et al.* 2020. Contemporary adaptive divergence of plant competitive traits in urban and rural populations and its implication for weed management. *J. Ecol.* 108(6), 2521-2530.
- Kobayashi, H. and A. Oyanagi 2005. *Digitaria ciliaris* seed banks in untilled and tilled soybean fields. *Weed Biol. Manage.* 5(2), 53-61.
- 露崎 浩 2005. メヒシバ (*Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler) の形態・生態的諸特性にみられる隣接した生育地への適応的分化. *雑草研究* 50(1), 10-17.

田畑の草種

青浮草（アオウキクサ）

（公財）日本植物調節剤研究協会
兵庫試験地 須藤 健一

サトイモ科アオウキクサ属の淡水域の水面に生育する一年草。水田では極めて普通。楕円形の葉のように見えるものは葉状体といい葉と茎の区別がない。長さ3-5mm、幅2-4mm。根は1本。通常1個から3~5個がつながって群体を形成している。被子植物、単子葉類で、花期である7月から9月には葉状体側面に盛んに花をつける。花の大きさは世界最小級で1個の雌蕊と2個の雄蕊からなり、自家受粉でよく結実する。水田などでは本種よりずっと大きく、葉状体が5~10mmの大きさのウキクサと混在していることが多い。

本種アオウキクサやウキクサなどのように根を土に下ろさず水面を漂う植物を「浮草」と呼んでいる。「浮草」は水面を漂い風の吹くまま水の流れるままにあちこちを移動しながら生活することから、人の世界でも一つの場所に落ち着かず不安定な仕事であったり生活であったりすることを例えて「浮草稼業」とか「浮草のような生活」とか言う。

そんな「浮草のような生活」というのは昔からあったようで、平安時代の歌人で絶世の美女といわれる小野小町にこんな「浮草」話がある。

古今集巻十八にある小野小町の雑歌。

わびぬれば身をうき草の根を絶えて
誘ふ水あらばいなんとぞ思ふ

この歌は小町と同時代の歌人である文屋康秀が三河の三等官になって赴任するとき、小野小町に「小町よ、私と一緒にいかないか」と声をかけた時の返事。

歌は「わび住まいの憂き身ですので浮草のように根を断って誘ってくれる水があればそのまま流れていこうかと思うのですが、やっぱり止めておきます」というほどの意味だが、三等官ごときの男とはいっしょに行けないよ、と断った。気位の高い小町であったようで、この歌のその後が「古今著聞集」巻第五に簡単に記される。

「すでに零落していた小町であるが、その後いよいよ落ちぶれて、しまいは山野をさすらったということである。人間の運命の儚さがよく分かる話である。」と。

小野小町にとっては人生そのものが「浮草」であったようである。