

雑草の急速で多様な適応進化の解明

深野 祐也 (千葉大学 園芸学部)

fukano@chiba-u.ac.jp

農地や都市で生えている植物の多くは雑草とみなされ、防除や管理の対象となる。農地や都市は自然環境と大きく異なるため、雑草はその特異な環境で急速に進化している可能性がある。私たちは、天敵から逃れた外来雑草などに注目し、都市と農地の雑草密度の違い、都市のヒートアイランドなどの環境変化に注目し、急速に生じる適応進化を解明してきた。本講演では、様々な雑草で起きる進化の多様性を紹介する。

はじめに

雑草とは、「人類の使用する土地に発生して人類に直接あるいは間接に損害を与えるところの植物」と定義される。つまり、農地や都市に生えていて、人間の経済・社会活動に邪魔な植物たちのことである。一方、雑草側の視点から見ると、農地や都市という人間が作り出した特異な環境に進出した植物である。農地や都市は自然環境とは異なる環境で生育している雑草は、その新しい環境で急速に適応進化している可能性がある。雑草の進化を解明することで、生物がどのように急速に、多様に進化しているのかという進化プロセスに対する基礎科学的な貢献が期待できる。さらに、雑草を管理するということは、雑草に対して新規の選択圧をあたえ進化の機会を与えるということでもある。そのため、雑草を上手く管理するためにも、進化の知見が有用であるかもしれない。本稿では、都市や農地の雑草で起きる進化に関して、私たちが行ってきた研究を紹介する。

外来雑草と外来昆虫でおきる急速な進化

外来雑草は世界中で大きな問題となっている。外来種は原産地とは異なる環境を経験しており、様々な性質が適応進化しながら侵略性を増加させていると考えられる。特に、多くの外来植物は、原産地の天敵から逃れて侵入している。天敵からの解放によって、コストのかかる天敵への防御形質が失われ、成長や繁殖が増加するような進化が急速に進化することが予想される。私たちは、米国から侵入したブタクサやオオブタクサに注目し、どんな進化が起きているかを調査した。日本と米国での野外調査や移植実験などによって、予想と一致するように、日本のブタクサ・オオブタクサ集団では天敵昆虫（ブタクサハムシ）への抵抗性が低下し、より早く成長がするようになっていた。さらに、この抵抗性の低下が、遅れて侵入した天敵昆虫の食草シフトの進化も引き起こしていることも解明した¹⁻⁴（写真1, 図1）。



写真1. 侵入先の日本でオオブタクサを食べるように進化したブタクサハムシ

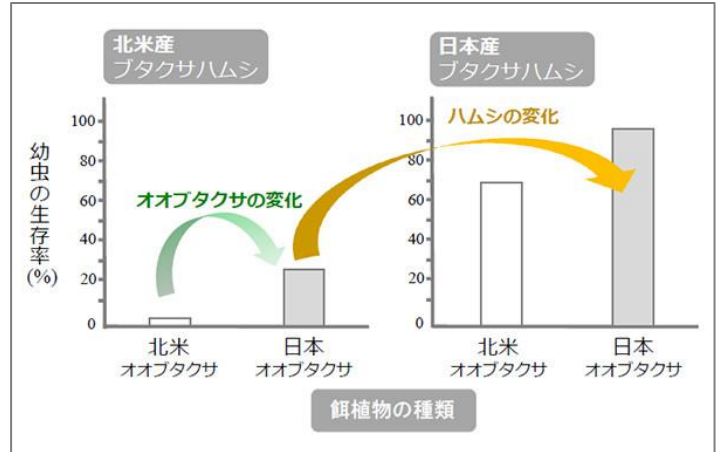


図1. 侵入して以降のオオブタクサの抵抗性の低下とブタクサハムシの生存率の向上

密度の違いで起こる草姿の収斂進化

都市と農地は、共に人間が作り出した人為的な生態系であるが、様々な環境が対照的に異なっている。特に、土壌の肥沃さが明確に異なり、それによってそこに生えている植物の密度が大きく異なる。都市は土壌が少なく密度が低い一方、農地は肥沃な土壌があり密度が高い。植物にとって、植物密度の違いは資源を巡る競争者の違いを意味し、光を巡る競争は植物が経験する選択圧の中でも最も大きなものの1つである。私たちは、メヒシバ・オヒシバという都市にも農地にも生えている普通種の雑草に注目した。そして、都市集団と農地集団間で草姿が明確に遺伝的に分化していることを発見した(図2)。また、競争環境の違いが草姿を生み出す選択圧になっていることを示した⁵。異なる2種が同じような形質を進化させており、急速な収斂進化の教科書的事例といえる⁶。さらに、1種の草姿の進化が、競争関係を変化させることで、周辺の雑草群集にまで波及することを示した⁷。

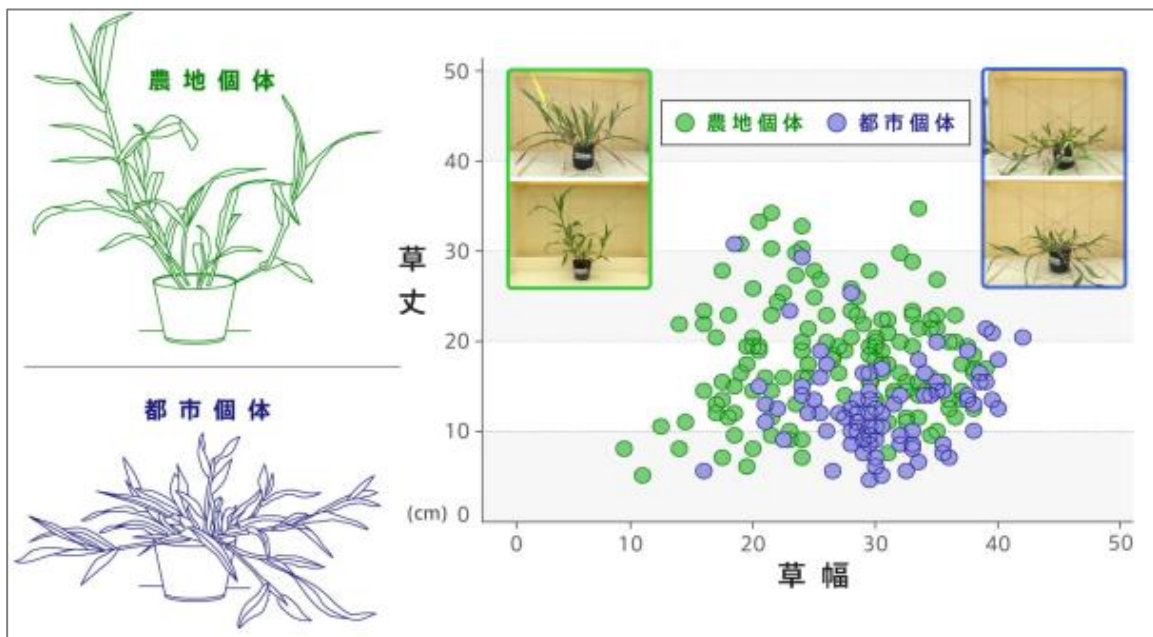


図2. 農地と都市由来のメヒシバ個体間の草姿の違い

都市のヒートアイランドに対する適応進化

世界の都市の普遍的な特徴の一つは、コンクリートやアスファルトなどの不透水面が優占することである。この特徴により、晴天時に地温が極端に上昇するヒートアイランドと言われる現象が起きる。ときに50℃以上にもなるこの環境ストレスは、都市に生育する雑草に強い選択圧として働いている可能性がある。しかし、これまで都市の植物がヒートアイランドに対して適応進化する事例は報告されていなかった。わたしたちは、世界中に分布するカタバミという植物に注目し、ヒートアイランドによって都市の雑草が適応進化している証拠を初めて発見した。まず、広範な野外調査によって都市のカタバミは、農地や緑地のカタバミに比べて、アントシアニン含有量の多い赤い葉を持つ個体が増加していることを確認した(写真2)。そして、栽培実験や光合成測定によって、高温環境下では赤葉が緑葉に比べて、光合成能力が高く、成長や種子生産が高かった(図3)。つまり赤葉の進化が高温耐性に関わっているといえる。最後に、都市における赤葉の進化の普遍性を確認するためには、オンラインの生物観察アプリのデータを使って全球規模で検証した。その結果、世界中のデータを統合しても、都市で赤葉が多い傾向があった。つまり、都市のカタバミで赤葉の割合が増加するのは、世界中で起きる普遍的な進化であることが示唆された⁸。



写真2. 緑葉と赤葉のカタバミ

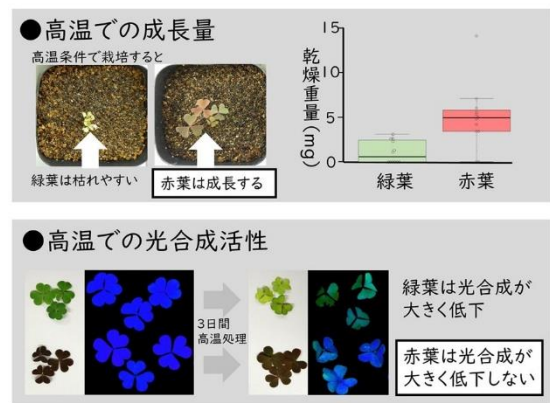


図3. 緑葉の赤葉の高温環境下での成長と光合成量の違い

おわりに

私たちの研究によって、雑草たちがもつ柔軟な適応進化の一端を解明された。都市や農地という人間が作り出した生態系が持つ独特な環境変化によって、雑草たちは急速に適応進化している。しかし、未解明な部分も多い。例えば様々な環境変化を同時に経験している植物、複数の選択圧に対してどのように対応しているのか。あるいは、適応進化が起きやすい種と起きにくい種の違いはなにか。そして、植物進化は生態系や人間社会にどんな波及効果があるのか。将来の研究ではこのような包括的な視点の研究が必要だろう。都市の雑草は自然生態系に比べて温度や乾燥など過酷な環境を経験している。これは将来の気候変動を先取りしているともとらえられる。雑草の進化やその帰結を理解することで、将来の気候変動下で生態系がどのように応答するか理解する手助けになるだろう。

.....

謝辞

矢原徹一博士、佐藤俊幸博士、小原嘉昭博士、田中幸一博士をはじめ、これまでご指導を賜った先生方、共同研究者の皆様、研究に際し様々な形でご支援下さった多くの皆様に深く感謝いたします。本研究は、九州大学理学府・東京農工大学農学府・東京大学農学生命科学研究科生態調和農学機構・千葉大学園芸学部で行いました。また、本賞にご推薦下さいました千葉大学園芸学研究院の百原学部長をはじめ、関係の皆様には厚くお礼を申し上げます。

.....

引用文献

- 1) Fukano Y. & Yahara, T.: *PLoS one*, 7(11), e49114. (2012).
- 2) Fukano Y., Tanaka K. & Yahara T.: *Basic and Applied Ecology*, 14(5), 387-395. (2013).
- 3) Fukano Y., Doi, H., Thomas, C. E., Takata, M., Koyama, S. & Satoh, T.: *Journal of Evolutionary Biology*, 29(4), 757-765. (2016).
- 4) Fukano Y. & Nakayama S.: *Journal of Insect Behavior*, 31, 490-502. (2018).
- 5) Fukano Y., Guo W., Uchida K., & Tachiki Y.: *Journal of Ecology*, 108(6), 2521-2530. (2020).
- 6) Fukano Y., Uchida K., & Tachiki Y.: *Evolutionary Ecology*, 37(2), 215-232. (2023).
- 7) Fukano Y., Tachiki Y., Kasada M. & Uchida K.: *Proceedings of the Royal Society B*, 289(1983), 20221376. (2022).
- 8) Fukano Y., Yamori W., Misu H., Sato MP., Shirasawa K., Tachiki Y. & Uchida K.: *Science Advances*, 9(42), eabq3542. (2023)