

## 花の特徴の組み合わせは万能選手の証か ～「花はパートナーを限定する」という定説を覆す新仮説の提唱～

色や形状、香りといった花の特徴の組み合わせは、ある決まったグループの動物に受粉を任せるような進化の結果と考えられてきました。例えば、青いベルを吊るしたような花はハナバチの仲間への専門化によって、白くて甘く香る花はガの仲間への専門化によって生じた、という具合です。しかし、実際の花はさまざまな動物に訪問されており、特定のグループに専門化しているという定説とは矛盾します。本研究では、生態学で25年来続くこの謎を解く鍵となる、新しい仮説を提唱しました。

定説の背後には「トレードオフ」という概念がありました。動物ごとに受粉に適した花の特徴が大きく異なるため、花は特定のグループに専門化するしかないという考え方です。すると、その特徴にマッチしない訪問客（動物）を多く受け入れている花は、効率の低い受粉に甘んじていることとなります。しかし、特定の動物に専門化せず多様なグループが集まる花を調べた過去の研究では、定説から期待されるようなトレードオフがほとんど観察されていません。本研究では、この事実をヒントに「多くの花は、トレードオフを緩和し、複数の動物による受粉の効率を同時に高めるような進化を遂げてきたのではないか？」という、これまで見過ごされてきた可能性を指摘しました。

トレードオフの緩和は、複数の特徴の組み合わせによって実現されます。例えば、花粉も蜜も含まなくなった古い花を落とさずに咲かせたままにする植物は、花が多く見えるため、外見で植物を選ぶハナアブを誘引することはできますが、頭の良いハナバチには嫌われてしまいます（トレードオフ）。しかし、古い花の色を変えて若い花の色で選べるようにすれば、ハナバチも訪れてくれるようになります（トレードオフの緩和）。これは、実際に多くの植物で進化した「花色変化」という現象です。今後は、異なる動物への同時適応という視点から、花の特徴のパターンを読み解く研究が必要となります。

本研究の視点は、野生植物の保全においても重要です。なぜなら、ある1種の花が存続するためには、限られたパートナーがいるだけでは不十分ということになるからです。花をまもるためには、多彩な訪問客との関係を保つことが欠かせないのです。

### 研究代表者

筑波大学生命環境系

大橋 一晴 講師

## 研究の背景

花の特徴が多様なのは、それぞれの花が進化の結果、特定の動物のグループによる受粉に専門化<sup>注1)</sup>したからだ、と長らく考えられてきました。しかし25年前、この定説に異を唱える論文が発表され、大論争を巻き起こしました<sup>参考文献</sup>。訪れる動物を観察する限り、花は特定のパートナーに専門化しているようには見えないし、そもそも専門化すべきでもないのでは、というのです。確かに、場所ごと、年ごとに環境が変動する可能性を考えれば、複数の動物を受粉に利用して繁殖失敗のリスクを避けることには利点がありそうです。しかし、これには反論もあります。そのような戦略が通用するのは、多様な動物に受粉を任せた時の方が、いずれかのグループに単独で受粉を任せた時よりも、たくさんの種子を残すことができる場合だけです。これはうまくゆかない可能性があります。なぜなら、動物は形態的、行動的に多様であり、あるグループによる受粉に適した花の特徴が他のグループには適さない、といった「トレードオフ<sup>注2)</sup>」が生じると予想されるからです。では、多様な動物が訪れる花は、トレードオフによる受粉の減少に対し、何も対策を持たないのでしょうか。また、専門化が起きていないとすれば、花の特徴の多様性はいったいどのように生まれたのでしょうか。これらの問いに明確に答えた研究者は、まだ誰もいません。

本研究チームは今回、異なる動物への適応を巡るトレードオフが検出された報告が過去にほとんどないという事実をヒントに、トレードオフの緩和による多様な動物への同時適応という新しい仮説によって、観察事実と進化理論の統一に挑戦しました。

## 研究内容と成果

本研究チームは、異なる訪問客が引き起こすトレードオフの下で花がたどる六つの進化のシナリオを提唱しました。過去に調べられたいくつかの興味深い花の特徴の組み合わせは、これら六つのシナリオのいずれかにあてはまります（参考図1）。これまで、異なる動物が引き起こすトレードオフは、花の進化を制約する前提条件と考えられてきました。しかし本研究は、この考えは必ずしも正しくなく、場合によってはトレードオフが進化によって緩和されてしまう可能性を指摘したのです。

とりわけ重要なのは、いずれのシナリオによるトレードオフの緩和も、花の特徴をいくつか組み合わせることで実現するという点です。蜜も花粉も含まない古い花を目立ちやすさのために残しておく一方で、その色を変え、嘘つきを嫌う動物とそうでない動物が引き起こすトレードオフを緩和する花色変化（参考図2・右）は、その典型と言えます。実際、この花色変化という現象（蜜も花粉も含まない古い花を落とさずに残し、かつ色を変える）は、類縁関係の遠いさまざまな植物で何度も独立に進化したことが知られています。今後は、トレードオフの緩和という視点から、さまざまな花の特徴の進化的な意味を捉えなおす研究が望まれます。

また、これまで専門化という考え方で説明されてきたケースについても、トレードオフの緩和という統一的な枠組みで捉えなおすことで、進化の条件がより明確になります。例えば、ハチドリに受粉を任せる花は、ハナバチの眼に見えにくい赤色の花をもつことで、彼らの訪問を減らしています（参考図1E）。これは、ハナバチに受粉の機会を与えると花粉を大量に無駄にするため、もっと受粉の効率が高いハチドリに花粉を運んでもらえる機会が減ってしまうからです。このタイプのトレードオフは、活動時刻が同じ動物の場合、開花時刻を調節（参考図1F）することによっては避けることができません。排除を伴う専門化は、こうした不可避のトレードオフによる受粉量の減少を防ぐ、花にとっての「最終手段」なのです。

以上のように、本研究は、生態学で長らく議論の絶えなかった問題に、世界で初めて解決の糸口を示しました。過去の研究における死角とも言える、トレードオフの緩和という可能性を示した今回の成果をきっかけに、花の進化研究の新たな潮流が生まれることが期待されます。

## 今後の展開

本研究チームは、さまざまな花の特徴の組み合わせがトレードオフを緩和する仕組みを明らかにするべく、マルハナバチと人工花を用いた室内実験や野外調査などさまざまな手段を用いて、さらに研究を進めています。花の特徴のパターンを、ある決まった動物への専門化ではなく、動物「群集」をうまく利用するための進化の結果として理解する視点は、野生生物の保全においても重要です。今後は、そうした保全の観点から見た、花を訪れる生物群集の重要性についても探って行きたいと考えています。

## 参考図

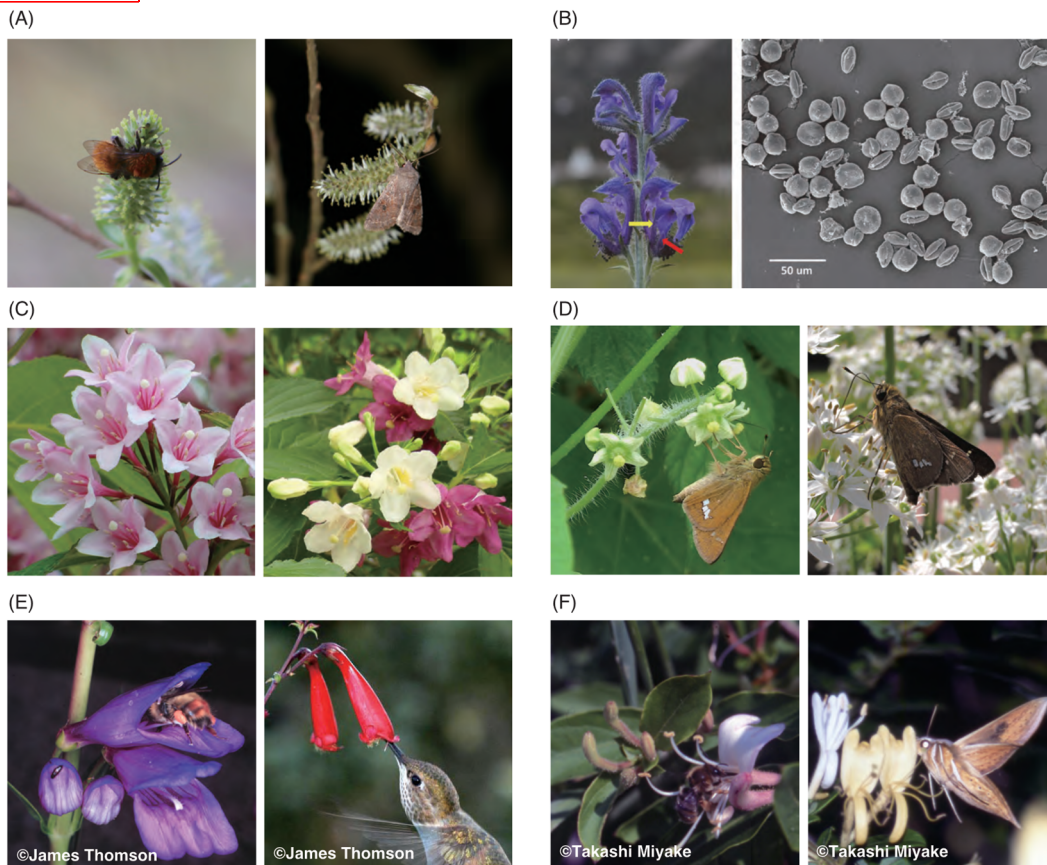


図1 トレードオフを緩和する花の進化の六つのシナリオ

(A) 花の特徴を切り替える (例：昼のハナバチ [左] と夜のガ [右] に合わせて花香を切り替えるバッコヤナギ)；(B) 花の特徴を分ける (例：昆虫に運ばせる大きな花粉と風に運ばせる小さな花粉をつくるトリカブトの一種；写真は Wang et al. 2017. *Ecology & Evolution* より引用)；(C) こだわりの原因を取り除く (古い花の色を変えてハナバチに嫌われないようにするハコネウツギ [右])；(D) 不一致の原因を取り除く (例：密集して咲くことでチョウが雄しべや雌しべに触れるようにするニラ [右])；(E) 悪玉を排除する (例：ハナバチに見つかりにくい赤い花でハチドリだけに受粉を任せるイワブクロの一種 [右])；(F) 悪玉を後に回す (例：夕刻に咲いてスズメガ [右] を先に訪花させ、ハナバチ [左] の訪花を後回しにするスイカズラ)

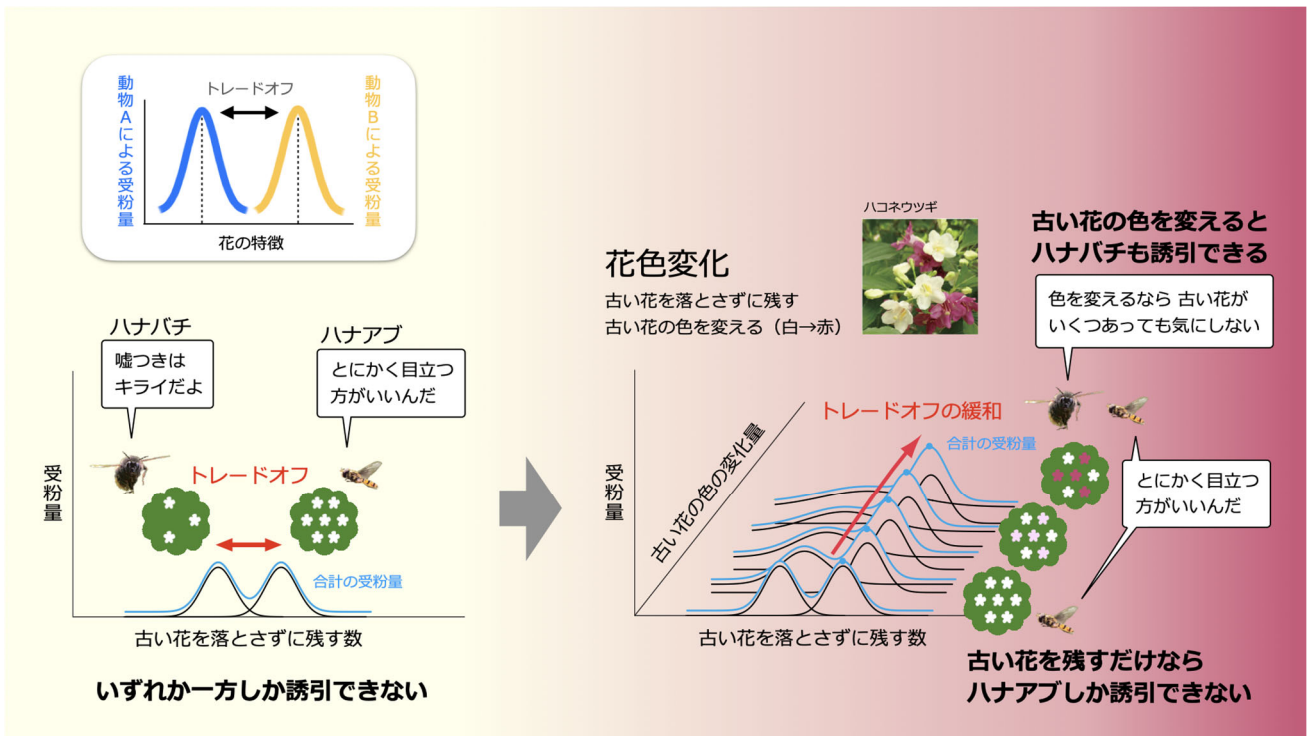


図2 トレードオフを緩和する花の進化の例：花色変化

トレードオフを緩和する花の進化の六つのシナリオの一つ、別の特徴を追加して「こだわりの原因を取り除く」タイプの例。古くなって蜜も花粉も含まない花を同じ色のまま残しておく、花が多く見えるため、外見だけで植物を選ぶハナアブを誘引できる。しかし、頭の良いハナバチには、こうした「嘘」は嫌われてしまう（左図・赤の両矢印）。そこで、古い花の色を変えて若い花を色で選べるようにすると、ハナバチもこだわり（嘘つきはキライ）を捨てて訪れるようになる。ハナバチの参入は合計の受粉量（青線）のピークを高めるため、花は次第に色を大きく変える方向へと進化する（右図・赤の矢印）。

### 参考文献

Waser, N.M., Chittka, L., Price, M. V, Williams, N.M. & Ollerton, J. (1996). Generalization in pollination systems, and why it matters. *Ecology* **77**, 1043–1060.

### 用語解説

#### 注1) 専門化

特定の動物のグループによってのみ受粉され、その受粉に最適な性質を進化させた花の状態を指す。スペシャリゼーションとも呼ばれる。これに対しジェネラリゼーション（＝さまざまな動物に受粉される花の状態）は、専門化に比べ効率の低い、進化の途中段階とみなされることが多い。

#### 注2) トレードオフ

一般には「あちらが立てばこちらが立たない」状況を指す用語。ここでは、ある動物に受粉を任せるとに適した花の特徴が別の動物による受粉に適さない、という状況や、ある動物に受粉の機会を与えることで、もっと受粉に適した別の動物による受粉の機会が失われてしまう、といった状況を指す。



## 研究資金

本研究は、科研費 国際共同研究強化「多様な送粉動物の利用における開花時刻の適応的意義」（代表：大橋一晴）の研究プロジェクトの一環として実施されました。

## 掲載論文

【題 名】 Trade-off mitigation: a conceptual framework for understanding floral adaptation in multispecies interactions.

（トレードオフ緩和：多種間相互作用系における花の適応進化の理解に向けた概念的枠組み）

【著者名】 Ohashi K (University of Tsukuba, Japan), Jürgens A (Technical University of Darmstadt, Germany), Thomson JD (University of Toronto, Canada)

【掲載誌】 Biological Reviews

【掲載日】 2021年6月7日

【DOI】 <https://doi.org/10.1111/brv.12754>

## 問合わせ先

【研究に関すること】

大橋 一晴（おおはし かずはる）

筑波大学生命環境系 講師

URL: <https://www.ohashilab.com>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報室

TEL: 029-853-2040

E-mail: [kohositu@un.tsukuba.ac.jp](mailto:kohositu@un.tsukuba.ac.jp)