

ハチは訪れる花の選択を花色と距離で能動的に調整していた ～ダーウィン以来の定説を超える「定花性」の包括的理解～

さまざまな花が咲くお花畑でも昆虫が1種類の花を連続して訪れる定花性という習性は、ダーウィン以来、異なる花を思い出す手間を避ける受動的な行動とされてきました。しかし実際には、思い出す手間と移動の手間を調整して最適解を選ぶ能動的戦略の結果であることを、ハチの実験で実証しました。

マルハナバチなどの訪花昆虫は、さまざまな花が咲くお花畑でも、しばしば1種類の花だけを連続して訪れる習性を示します。これは「定花性」と呼ばれています。ダーウィンは定花性を、異なる花の特徴を思い出す手間を避ける受動的な反応だと考えました。しかし本研究では、この定説が「記憶の制約」という視点に偏った不完全な見方であり、実際の定花性は、記憶の呼び出し時間と移動時間のバランスでダイナミックに調整された最適戦略の結果であることを明らかにしました。

本研究では、植物種の空間的な混在度に着目して、訪花昆虫の行動予測を立てました。異なる植物種が混じる環境では、1種類の花に固執すると近くの他種を飛び越えるための移動時間が増えてしまいます。このため、思い出す手間を多少かけても、定花性は適当なレベルに抑えるのが最適だと考えられます。花の色や形の種間差がそれほど大きくないときは、思い出す手間が少なくなるため、定花性はさらに低く抑えるのが最適です。一方、植物が種ごとに集まって分布する環境では、1種類の花に固執した方が思い出す手間だけでなく移動の手間も減らせます。このため、高い定花性が最適になります。

これらの予測を確かめるため、2種類の人工花を用意し、その空間的な混じり具合と花色の違いから、クロマルハナバチの定花性がどのように変化するかを調べました。すると予測通り、2種が混じり合い、花色が似ているほど、ハチの定花性は低くなりました。一方、同種が集まる環境では、花色によらず、定花性は高く保たれました。以上の発見は、訪花昆虫の定花性に関する150年来の定説を超え、野外環境における昆虫の定花性についての包括的な理解をもたらす重要な知見です。

研究代表者

筑波大学生命環境系

大橋 一晴 講師

筑波大学 生物学学位プログラム

高木 健太郎 博士後期課程2年次

研究の背景

マルハナバチなどの訪花昆虫には、お花畑にさまざまな種類の花が咲いていても、特定の1種類を繰り返し訪れる習性（定花性：Flower constancy）があります。花粉を運んでもらう植物にとって昆虫の定花性は、異なる種同士の交雑が抑えられる都合のよい行動です。このような観点から、昆虫の定花性が成立するメカニズムは、古くから関心を集めてきました。ダーウィンは19世紀後半、定花性を機械職人の仕事に例えて説明しました。職人は同じ部品を続けて作ることで、異なる部品の作り方をいちいち思い出す手間を省き、効率よく作業を進めます。同じように、昆虫も1種類の花に専念することで、異なる花の特徴を思い出す手間（以下、認知コスト）を避けているのではないかと考えたのです。確かに、昆虫の定花性は花の色や形が異なる植物種の間で広く観察される傾向があります。したがって、ダーウィンの考え方に基づき、従来の研究では、定花性は異なる花の見た目や蜜の在処の記憶を呼び出す手間を省くためのもの、いわば認知コストへの受動的な反応であるとする見解が長く主流でした。

しかし、よく考えると、定花性には認知コストを節約できるという利点がある一方で、場合によっては別のコストを増やしてしまう可能性もあります。例えば、さまざまな植物種が混じり合って生育する環境では、特定の花だけを選んで訪れようとする、他の花を飛び越えるための余分な移動コストがかかってしまいます。このように考えると、植物の分布様式が多様な野外では、植物種間で花の色や形が異なるからといって、昆虫にとって定花性を高めることが必ずしも最適とは限りません。つまり、定花性のレベルは、単に認知コストの帰結として受動的に決まるものではなく、植物の生育環境に応じた最適な戦略として、より能動的かつ柔軟に調整されているのではないのでしょうか。認知コストのみに着目したダーウィンの考え方では、こうした定花性の状況依存的な性質が見逃されてきたのかもしれない。そこで今回、クロマルハナバチと人工花を用いた室内実験で、この可能性を確かめました。

研究内容と成果

まず第一に、色が大きく異なる2種類の人工花（青色・黄色）を3通りの配置で並べ、花の配置によって変化する移動コストがハチの定花性にどのような影響を及ぼすかを調べました。具体的には、(1) 2種が著しく混じり合っており、同種の花を選び続けると余分な移動コストがかかる「混合配置」、(2) 花が種ごとに集まっており、同種を選び続けることで移動コストを抑えられる「集中配置」、(3) 2種の混じり具合が中程度で、同種を選んでも異種を選んでも移動コストに差がない「中間配置」のいずれかの条件をハチに提示しました（参考図：②上段）。その結果、ハチは、混合配置では低い定花性を、集中配置では高い定花性を、そして中間配置では中程度の定花性を示しました。この結果は、予測通り、ハチが移動コストに応じて定花性を最適なレベルに調整することを示唆しています（参考図：③）。

第二に、色が似た2種類の人工花（黄色・山吹色）を用いて同じ実験を行い、認知コストが小さい状況でハチがどのように定花性を調整するかを調べました（参考図：②下段）。その結果、ハチは混合配置では、最初の実験よりも劇的に定花性を低下させた一方で、集中配置では同じレベルの高い定花性を維持しました（参考図：③）。恐らく、似た花色の種を切り替える際には、異なる花の特徴を思い出す手間がほとんどかからないため、ハチは移動コストのみに基づいて次の花を選ぶようになったと考えられます。

このような定花性のダイナミックな変化は、従来のように認知コストへの受動的な反応として説明することはできません。今回の結果は、定花性が、認知コストと移動コストのバランスに基づいて柔軟に調整される昆虫の最適戦略の結果であることを強く示唆する、画期的な発見です。

今後の展開

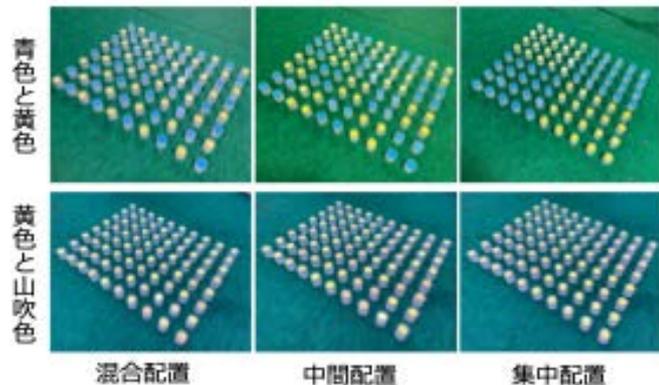
本研究の発見は、定花性が植物の繁殖や進化に与える影響に新たな視点を提供します。従来、同じ場所で同時期に開花する植物は、他種と異なる花の形質を持つほど、定花性によって種間交雑を避けやすいと考えられてきました。しかし、同じ種が集中的に分布する環境では花の形質の違いによらず昆虫が高い定花性を示すという今回の結果は、他種と異なる花の形質を持つ植物が有利になるのは、他種と混じり合う傾向が強い種に限られる可能性を示唆します。今後は、植物の空間配置によって変化する定花性が、花の色や形の多様性にどのような進化的・生態学的帰結をもたらすかを野外で検証したいと考えています。

参考図

①室内実験



②人工花の配置と色の組み合わせ



③実験の結果

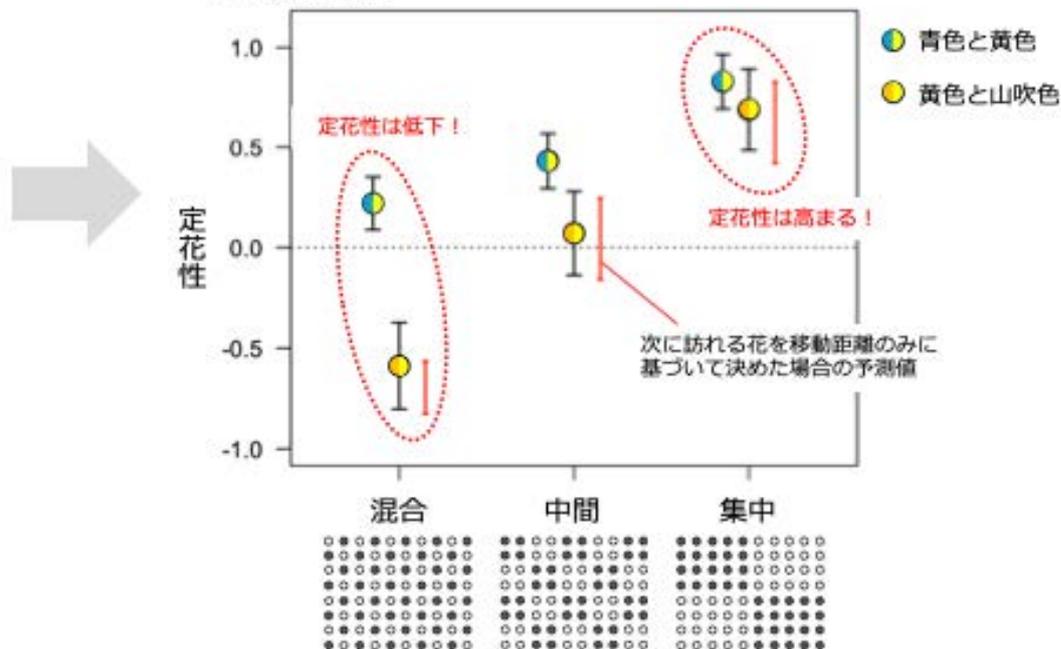


図 本研究で行なった実験の概要図

実験では、等しい量の蜜を含む2種の人工花を格子状に並べ、クロマルハナバチが採蜜する様子をビデオ撮影した(①)。混合、中間、集中3種類の配置それぞれについて、花色が種間で大きく異なる場合(青色・黄色)と似ている場合(黄色・山吹色)を用意した(②)。実験後、撮影したハチの訪花順序から定花性を数値化した(グラフの縦軸)。ハチの訪花がランダムなら0に、同種間を移動する傾向が強いほど1に、異種間を移動する傾向が強いほど-1に近づく。グラフから、2種類の花が混じり合う状況では、ハチは移動コストが大きくなり過ぎないように、低い定花性を示すことが分る。また、花色が似ている種間でも、認知コストが小さくなるため、ハチはどの配置でも低い定花性を示すようになった。

研究資金

本研究は、科研費による研究プロジェクト（19K06834）の一環として実施されました。

掲載論文

【題名】 Realized flower constancy in bumble bees: Optimal foraging strategy balancing cognitive and travel costs and its possible consequences for floral diversity.

（実現定花性：認知コストと飛行コストをバランスする送粉者の最適採餌戦略と花の多様性に及ぼすその潜在的な影響）

【著者名】 K. Takagi and K. Ohashi

【掲載誌】 Functional Ecology

【掲載日】 2025年2月10日（オンライン先行公開）

【DOI】 <http://doi.org/10.1111/1365-2435.70008>

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】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp