

赤い足と黄色い足のムカデがいる理由に迫る

—市民科学で全国の色彩変異の分布を解明—

概要

よく似た環境に暮らす近縁の種が、足の色に同じ色彩変異をもつなら、その色彩は同じ仕組みで進化し、維持されているのでしょうか。日本に広く分布するトビズムカデとアオズムカデは、生態がよく似ているうえ、どちらにも足が赤い個体と黄色い個体が見られ、この問いを検証する格好の研究対象です。宇野良祐 京都大学大学院理学研究科博士課程学生と伊與田翔太 同研究科博士課程学生は、市民科学に投稿された全国の写真記録を活用し、両種では色彩変異の起源や維持の仕組みが異なる可能性を明らかにしました。

本研究では、両種の足に見られる色彩変異の分布を地図化し、気候、餌、捕食者（ムカデを食べる動物）との関係を解析しました。その結果、両種の分布域や生態はよく似ている一方、各色の分布パターンが大きく異なることを発見しました。トビズムカデでは赤型と黄型が全国的に共存し、それぞれの型が生息する気候条件（「気候ニッチ」といいます）や捕食者の構成に違いが見られた一方で、アオズムカデの赤型は関東から東海の太平洋側に限られ、餌や捕食者にも違いは見られませんでした。この分布は、赤型が近年移入し、現在も分布を広げつつある可能性と整合します。つまり、外見上は似た色彩変異でも、その成り立ちや維持の仕組みは同じとは限りません。今後は遺伝解析、野外実験などを通じて、この色の違いがどのように生まれ、なぜ残されてきたのかを解き明かしていきます。

本研究成果は、2026年6月23日に米国の国際学術誌「*Ecology and Evolution*」にオンライン掲載されました。



図. 本研究の概要

1. 背景

メンデルがエンドウ豆から遺伝の法則を見だし、ケトルウェルが蛾の体色変化から自然選択を検証したように、生物の色彩変異は、遺伝と進化の仕組みを目に見える形で捉える重要な研究対象です。なかでも、同じ種の中に異なる色彩型が共存する現象は、なぜ一つの型だけに固定されず、多様性が維持されるのかという進化生物学の根本的な問いを解く手がかりとなります。さらに、色彩型の割合が地域に沿って連続的に変化する場合、地域ごとに異なる型を有利にする自然選択と、少数派を有利にする選択や遺伝子流動によって多型を維持する力との均衡から生じることもあれば、移入や分布拡大という歴史的過程の一時的な痕跡であることもあります。つまり、色彩型の地理的分布は、自然選択、遺伝子流動、確率的過程が複雑に絡み合う進化のダイナミクスを、現在の自然から読み解くことのできる格好の舞台です。

しかし、色彩変異を示す生物は広い地域に分布することが多く、研究者だけで色彩型の分布や頻度を調べることは困難です。近年は、市民が投稿した生物写真を活用する市民科学により、この制約が克服されつつあり、形態変異の地理的分布と、気候や生物間関係との結びつきを広域的に検証できるようになってきました。実際に、トンボ (Drury et al., 2019) やトカゲ (Gallozzi et al., 2022) などでは、市民から寄せられた観察記録を用いて、分布域の変化や地域ごとの出現傾向を明らかにする研究が進められています。

日本に広く分布するトビズムカデとアオズムカデは、近縁で分布域や生態もよく似ており、さらに、どちらにも足が赤色または黄色を示す個体が見られます。しかし、従来の研究は色彩の記載にとどまり、それぞれの色彩型がどこに分布し、気候、餌、捕食者とのどのように関係するのかが分かっていませんでした。

このよく似た色彩変異は、両種に共通する環境への適応によって維持されているのでしょうか。それとも、種ごとに異なる分布の歴史を反映しているのでしょうか。本プロジェクトでは、研究者による観察記録と市民科学の写真記録を統合して両種の足色の分布を地図化し、気候ニッチ、餌、捕食者との関係を比較することで、似通った色彩変異の分布の創出と維持の仕組みが、種を超えて共通するのかを検証しました。



図 1. トビズムカデおよびアオズムカデの足色の変異 (A: トビズムカデの黄型、B: トビズムカデの赤型、C: アオズムカデの黄型、D: アオズムカデの赤型)

2. 研究手法・成果

本研究では、市民科学プラットフォーム「Biome」や「iNaturalist」に2023年12月までに投稿された写真を譲り受け、研究者らの観察記録を統合し、8,493件の記録からトビズムカデとアオズムカデの分布データを整理しました。写真は一件ずつ確認し、種と足の色を判定しました。特に色の分類では、撮影時の照明やカメラ設定によって黄色が赤く見えるなどの影響を避けるため、少なくとも3か月の間隔を空けて3回判定し、すべて同じ結果となった記録だけを採用しました。本研究でいう「赤型」は、全国に少数見られるオレンジ色の個体や、赤色と黄色の中間に見える個体を含めず、解析から除外しました。

こうして得られた3,046件の記録を用いて、赤型と黄型の分布を地図化しました。さらに、各地点の気温、降水量、乾燥度などの気候情報から、各色彩型が利用する気候環境の範囲を複数の解析手法で比較しました。加えて、ムカデが獲物を捕食している写真やムカデが食べられている写真から餌と捕食者を同定し、色彩型によってそれらの構成に差があるかを検証しました。

その結果、トビズムカデでは赤型と黄型が全国的に共存し、両型の気候ニッチは大きく重なりながらもわずかに異なり、捕食者の構成にも明瞭な差が見られました。具体的には、黄型が都市部で鳥類によって捕食されるのに対し、赤型は林縁部で哺乳類によって捕食されていました。一方、アオズムカデでは黄型が全国に広く分布するのに対し、明瞭な赤型は関東から東海地方の低地に集中していました。その気候ニッチは黄型が利用する範囲に完全に含まれ、餌や捕食者にも違いは認められませんでした。これらの結果は、外見上は似た赤色と黄色の変異であっても、トビズムカデでは気候や捕食者による自然選択が、アオズムカデでは移入や分布拡大の歴史が、それぞれ異なる形で分布を形成している可能性を示しています。

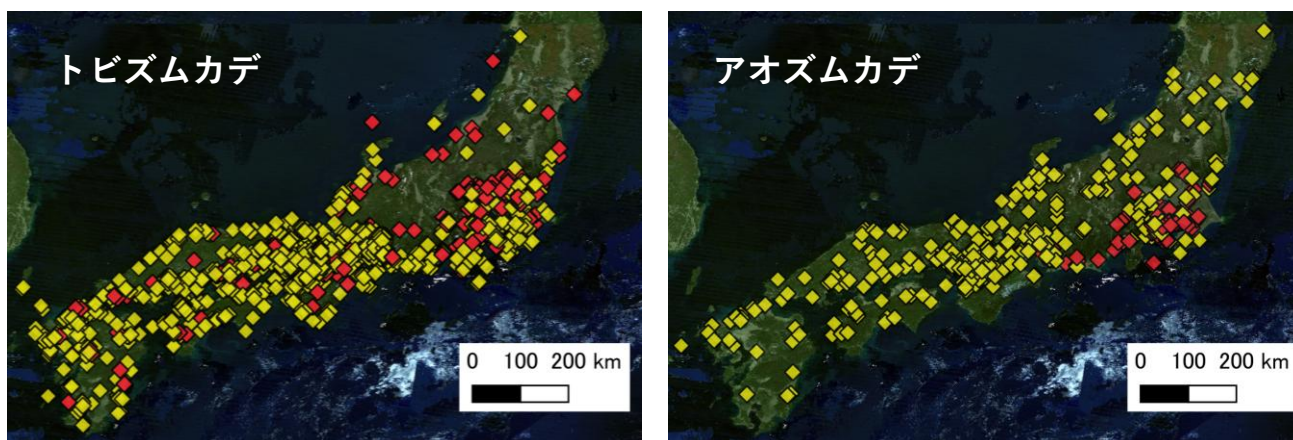


図2. 本州におけるトビズムカデとアオズムカデの足色の分布 [国土地理院「全国最新写真（シームレス）」およびGRUS画像（© Axelspace）を加工して作成。出典：国土地理院ウェブサイト <https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>]

3. 波及効果、今後の予定

生態的に似た種で似た表現型が見られても、その分布を形づくり、維持する仕組みは異なり得るという結果は、生物の多様性が環境への適応だけでなく、集団の移動や分布の歴史といった偶然的な出来事にも左右されることを示唆しています。また、市民科学による長期的・広域的な観察は、色彩型の分布変化を追跡し、外来系統の侵入や分布拡大を早期に捉える手段としても活用できることが期待されます。

一方、本研究は写真記録に基づくため、撮影場所や撮影されやすい相互作用には偏りがあるでしょう。また、気候解析は約1キロメートル単位の情報に基づいており、落ち葉の中の湿度や温度など、ムカデが実際に経験

するであろう微細な環境は十分に評価できていません。さらに、足の色の遺伝性や、各色彩型の系統的情報は明らかになっていません。今後は、色彩測定や遺伝解析、交配実験によって足色の遺伝性と起源を調べるとともに、捕食実験や視覚モデリングを通じて、各色彩型がどの環境で有利になるのかを検証します。

なお、現時点ではアオズムカデの赤型を外来生物と判断したものではなく、外来系統に由来する可能性を示した段階です。人や生態系への影響も確認されていないため、過度な駆除や忌避につながらないように、今後も科学的根拠に基づいて慎重に情報を発信する必要があります。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は、JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2110 の支援を受けたものです。

5. 謝辞

本研究にあたり、数年にわたって多数の市民科学データをご提供いただいた株式会社バイオーム様、ならびに個別にムカデの記録をお寄せくださった皆さまに、改めて心より御礼申し上げます。

<研究者のコメント>

害虫として嫌われるムカデにも、まだ知られていない進化史があります。全国から集まった数千枚の写真を、1枚ずつ確認する作業は根気を要しましたが、2種に共通する色彩が、まったく異なる分布を示すと気付いた時には、積み重ねが発見につながる喜びを感じました。市民科学者としての皆さんの記録がなければ、この発見は不可能でした。今後も足元に広がる生物多様性の成り立ちを、ひとつひとつ解き明かしていきたいと思えます。(宇野良祐・伊與田翔太)

<論文タイトルと著者>

タイトル：Untangling Colour Diversity: Ecogeographic Patterns in Two *Scolopendra* Species Revealed by Citizen Science (色彩の多様性を解き明かす：市民科学によって明らかになったオオムカデ属2種における生態地理学的パターン)

著者：宇野良祐・伊與田翔太

掲載誌：*Ecology and Evolution*

DOI：<http://dx.doi.org/10.1002/ece3.73882>