

# カワラハンミョウの体色が生息地の砂色とよく一致することを解明 —場所ごとに異なる保護色の進化過程を明らかに—

## 概要

京都大学大学院理学研究科 山本捺由他 博士課程学生と曾田貞滋 同教授の研究グループは、日本広域の砂地に生息する甲虫の1種、カワラハンミョウの体色が、鳥などの天敵にとって識別しにくいほど各地の砂色と似ていることを画像解析により発見しました。また野外実験により体色が砂色と似ることで実際に天敵から襲われにくくなること、遺伝子解析により砂色に似た体色が場所ごとに進化したことを明らかにしました。

さまざまな動物において天敵から逃れるために背景の色とよく似た保護色（隠蔽色）を持つことが知られています。このような保護色は自然選択によって進化したものと古くから考えられてきました。しかし、体色と背景色の一致性やその効果、進化過程を総合的に検証した研究はこれまでほとんどありませんでした。この研究は、背景色とよく一致した保護色が場所ごとに進化するという自然選択による適応が、1種の昆虫の広い生息域の中の異なる場所で繰り返し起こっていることを示した点で注目されます。

本成果は、2020年12月16日に国際学術誌「英国王立協会紀要 B (Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences)」にオンライン掲載されました。



(左) “黒い”カワラハンミョウ (伊豆大島)、(右) “白い”カワラハンミョウ (鳥取砂丘)

## 1. 背景

さまざまな動物で、天敵から逃れるために背景の色とよく似た保護色（隠蔽色）を持つことが知られています。このような保護色は自然選択によって進化したものとされています。天敵となる動物とわたしたちヒトの目は様々な点で異なり、色の見え方が違うことがわかっています。そのため、動物の体色が保護色であるかを明らかにするには、天敵の目から見て背景色と体色がよく似ているかを評価し、より似ている方が天敵から襲われにくいかを検証する必要があります。また、体色は遺伝的に近いほど似る傾向があり、気候条件など他の要因も特に昆虫などの外温動物では体色に影響する可能性があるため、それらが保護色の進化に影響するか評価することも重要です。しかしながら、天敵の色覚に基づく色の一致性とその効果、そしてその進化過程を総合的に検証した研究はほとんどありませんでした。

ハンミョウ類は非常に多様な体色を持つ甲虫で、地面の色と似た体色を持つ種が多く存在することから、保護色を持つ動物の代表例のひとつとして、ダーウィンとともに活躍した進化学者ウォレスにも注目されてきました。研究グループが着目したのは、日本広域の砂地に生息するカワラハンミョウです。カワラハンミョウは黒地の翅に白い模様があり、その白紋の発達の程度は場所により大きく異なります。生息地の砂も火山分布など日本の複雑な地理や地質を反映して場所により色の明るさが大きく異なることから、カワラハンミョウは各地の砂色に一致した保護色を持つ可能性が考えられました。

## 2. 研究手法・成果

今回、1400kmにも及ぶ日本広域の生息地からカワラハンミョウと砂を採集し、天敵である鳥類の色覚情報に基づいて色（輝度）を推定しました。その結果、白い模様の発達の程度により翅全体の色が決まり、その色と生息地の砂色が鳥類にとって識別しにくいほどよく一致していることが示されました。また、体色の異なるカワラハンミョウの模型を作って野外に設置した結果、背景の砂色により近い模型の方が鳥類からの襲撃が少ないことが分かりました。これらのことから、カワラハンミョウにおいて自然選択の結果として背景色とよく一致した保護色が進化したことが明らかになりました。

さらに、次世代シーケンスによって精度の高い系統樹を作成し、カワラハンミョウの遺伝構造を調べた結果、生息地の場所が近いほど遺伝的に近いが、体色の近さと遺伝的な近さには明瞭な関係性が見られませんでした。このことから、カワラハンミョウでは生息場所を広げる中で地点ごとに砂の色とよく似た体色の進化が起こったことが示唆されました。また、系統関係や気候条件（気温や日射量）が体色に与える影響を評価したところ、系統関係を考慮した上でも砂の色が体色に大きく影響しているに対し、気候条件による影響は見られず、カワラハンミョウの体色進化には保護色による天敵からの襲撃回避が重要であることが示されました。

以上の研究結果は、天敵からの襲撃が体色の進化に中心的な役割を果たしていることを示しており、1400kmに及ぶほど広い範囲にわたる実証例は本研究がはじめてです。

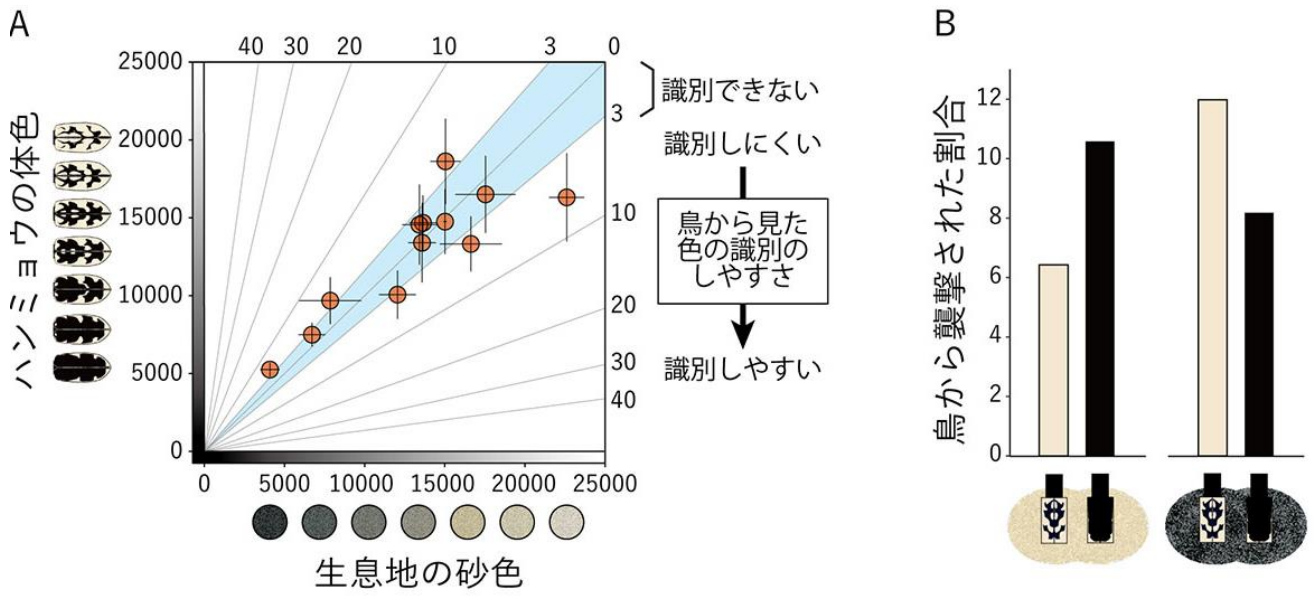


図 1. A. カワラハンミョウの体色と生息地の砂色の関係。鳥の目から識別しにくいほど似た色だった。  
 B. 野外に設置した模型が鳥に襲撃された割合。砂の色と似ている模型の方が襲われにくかった。

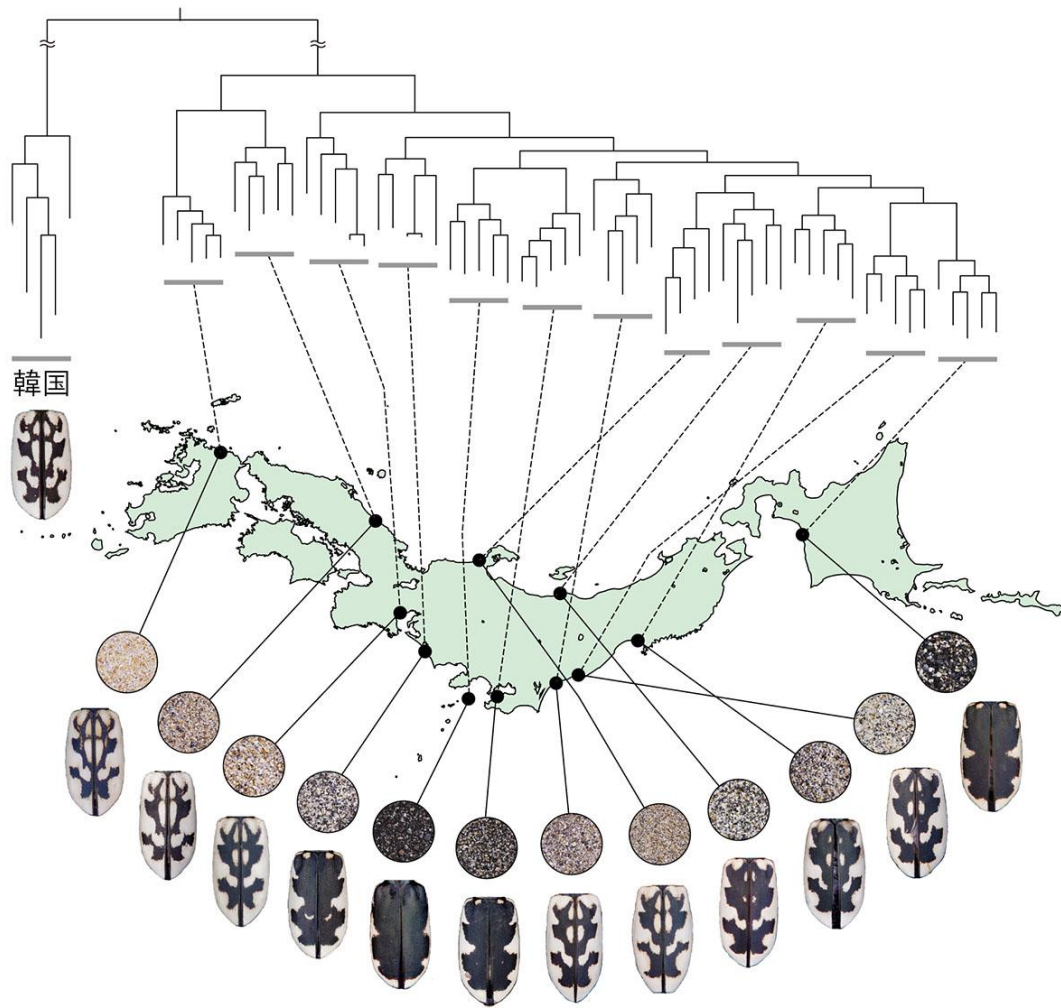


図 2. カワラハンミョウ地域個体群間の遺伝的関係性と各地の砂色及び体色

### 3. 波及効果、今後の予定

今回の研究は、自然選択により各地の背景色とよく一致した保護色が進化するという自然選択による適応が、1種の昆虫の広い生息域の中の異なる場所で繰り返し起こっていることを、画像解析、野外実験、系統解析を駆使することにより総合的に示したものです。この成果は体色進化の過程と帰結に関する重要な事例となることが期待されます。

今回の研究では、場所間での気候条件の違いが体色の違いに与える影響は見られませんでした。暗い体色や砂色は温度が上がりやすく、体温調節上のコストが生じている可能性があります。保護色が進化する上でのコストやそれをどのように解消しているのかの解明が課題として残されています。また、体色進化やその過程についてより深く理解するには、体色の違いをもたらし遺伝子を特定し、それがどのような働きをするかを解明する多くの研究が必要です。

### 4. 研究プロジェクトについて

本研究は科学研究費補助金により行われました（研究代表者：曾田貞滋。課題番号：15H02637、18H04010）。

#### <研究者のコメント>

カワラハンミョウは“カワラ（河原）”という名のとおり、かつては河川沿いの砂地や砂浜海岸に広く生息していました。しかし、護岸工事等により生息地の減少が続き、今やカワラハンミョウのいる河原はありません。今回の研究は保護などによりまだ生息数が比較的多い海岸で特別な許可を得て実施しました。今回の研究成果が少しでも身近な自然に興味を持つきっかけとなることを願います。

#### <論文タイトルと著者>

タイトル：Evolutionary fine-tuning of background-matching camouflage among geographic populations in the sandy beach tiger beetle（カワラハンミョウ地域個体群における背景色とよく一致したカモフラージュ体色の進化）

著者：Nayuta Yamamoto, Teiji Sota.

山本捺由他（京都大学大学院理学研究科博士課程）

曾田 貞滋（京都大学大学院理学研究科・教授）

掲載誌：Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 287 (2020)

DOI：10.1098/rspb.2020.2315