

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：16401

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K16230

研究課題名（和文）警告色と隠蔽色の分化をもたらす生態的・遺伝的要因の解明

研究課題名（英文）Ecological and genetic mechanisms for evolution of aposematic and cryptic coloration

研究代表者

鈴木 紀之（Suzuki, Noriyuki）

高知大学・教育研究部総合科学系生命環境医学部門・准教授

研究者番号：00724965

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、同じ種類で警告色と隠蔽色の両方が存在しているクリサキテントウを対象に、警告色と隠蔽色の切り替えをもたらす生態的・遺伝的要因の解明を目的とした。本州・四国・南西諸島の島々においてクリサキテントウを採集し、斑紋の数と面積、色彩を測定した。その結果、島ごとにこれらの形質が有意に異なること、また、同じ島内であっても著しい個体間変異が維持されていることが分かった。特に、南西諸島の一部の離島では、斑紋の数が少なく、斑紋の面積が少なく、色彩が薄い個体が含まれており、一般的な警告的な色彩ではなく、隠蔽的の個体も共存していることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

見て分かるように、地球上の生物の色彩や模様は多様である。しかし、どのような生態的要因によってこうした多様性が生まれたのか、解明されていないことが多い。本研究では、同じ種類であっても地域間や地域内で色彩と模様の多様性が生じているテントウムシを対象にして、変異のパターンを定量化し、比較した。こうした進化生態学的研究は、生物多様性の創出・維持メカニズムを理解する上で欠かせないものであり、生物多様性を保全あるいは活用していく上での重要な知見となりえる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we examined ecological and genetic factors affecting elytra color patterns of a ladybird *Harmonia yedoensis*, which exhibits both aposematic and cryptic patterns within the species. We took photographs of the elytra of these samples under standard lighting condition and measured the number and area of black dot on the elytra. Moreover, we quantified elytra coloration by using color vision model. We found that these morphological traits were different among the islands and that considerable variation was maintained even within the same populations. Particularly, we detected some individuals with small dots and dull coloration from a few remote islands in Okinawa. These results indicate that in *H. yedoensis*, both aposematic and cryptic individuals coexist in the same population. Therefore, it is suggested that evolution of aposematic coloration from cryptic coloration (or vice versa) would be more likely to occur than previously imagined.

研究分野：進化生態学

キーワード：捕食回避 色彩多型

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

生物の色彩パターンとその役割は多様であり、進化生物学の黎明期であるダーウィンとウォレスの時代から、多くのナチュラリストと科学者を魅了してきた。とりわけ被食者の体色は、性淘汰と体温調節だけでなく捕食回避に重要な役割をもつ。被食者では、捕食者に派手な見た目をアピールする「警告色」と、背景にカモフラージュして発見されにくくなる「隠蔽色」という、正反対ともいえる戦略が進化してきた。

しかし、種によって異なる捕食回避戦略が進化した要因は自明ではない。特に、警告色から隠蔽色への移行（またはその逆）のためには、色彩・模様・生息環境の選択（自身の体色と背景との一致）など、さまざまな形質が複合的に機能する必要があるため、簡単には進化しにくいはずである。したがって、警告色と隠蔽色という相反する機能をもつ形質が分化するための生態的・遺伝的なメカニズムを明らかにする必要がある。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、同じ種類で警告色と隠蔽色の両方が存在しているクリサキテントウを対象に、警告色と隠蔽色の切り替えをもたらす生態的・遺伝的要因の解明を目的とする。クリサキテントウは日本国内では本州から南西諸島にかけて分布しており、黒地に赤い斑点もしくは赤地に黒い斑点をもつ警告的な色彩をしている。一方で、南西諸島の一部の離島では、地色が薄茶色で黒い斑点が消失している個体が見つかり、隠蔽的な色彩の可能性もある。このように、種内で警告色と隠蔽色の両方が生じる系を用いることで、対照的な捕食回避戦略の機能を比較し、それをもたらす生態的・遺伝的要因を明らかにできると考えた。

### 3. 研究の方法

本州・四国・南西諸島の島々においてクリサキテントウとナミテントウを採集し、生かしたまま実験室（高知大学物部キャンパス）に持ち帰った。色彩を分析するために、サンプルをディープフリーザーに保管した。波長が既知の光源のもと右鞘翅をデジタル一眼レフカメラ（Nikon D70）で撮影し、ImageJ を用いて斑紋の数と面積、鞘翅の面積を算出した。また、ImageJ のプラグイン micaToolbox を用いて、シジュウカラの色覚モデルを適用して各錐体細胞（LW・MW・SW）が受容する光子量を求めた。これらのデータから、鞘翅の赤さの指標である  $RG = LW / (LW + MW)$  を算出した。また、クリサキテントウの主な生息環境であるリュウキュウマツの樹皮を背景として、鞘翅の色彩との丁度可知差異（JND）を求め、JND が 3 以下の個体を隠蔽的であるとみなした。これらの変数を種間・集団間・個体間で比較した。

#### 4. 研究成果

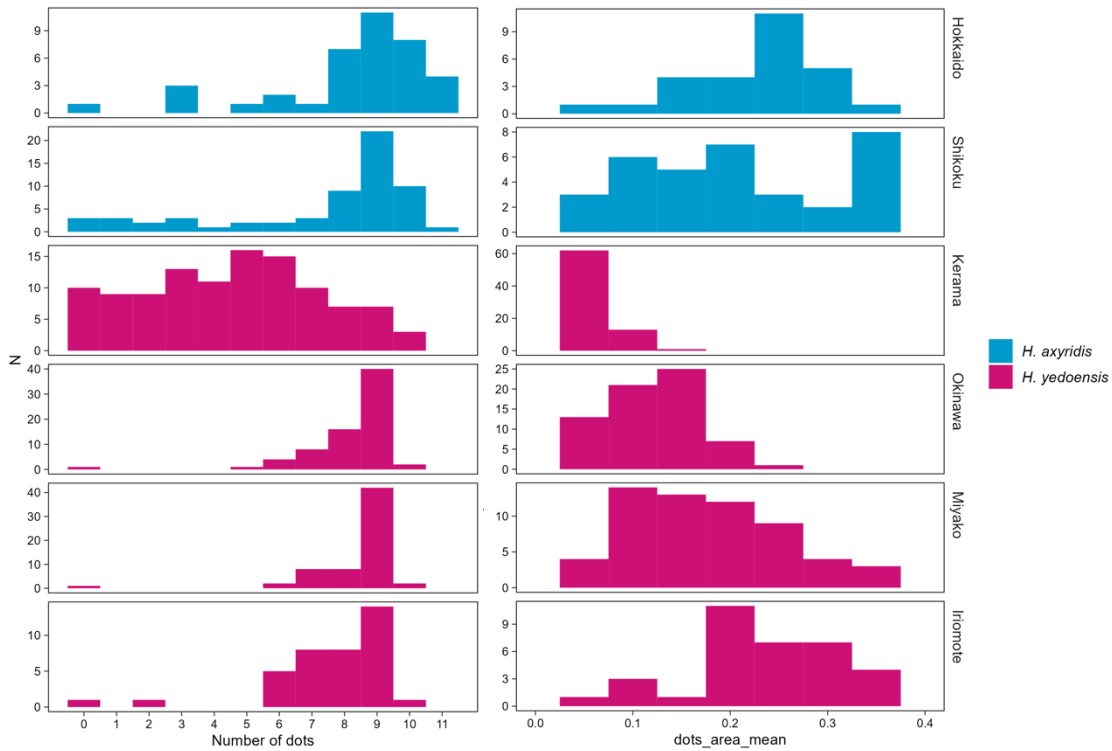


図1 各集団におけるナミテントウ（青）とクリサキテントウ（赤）の斑点の数（左）と斑点1個あたりの平均面積（右）。

(1) クリサキテントウとナミテントウの紅型ともに、片方の鞘翅における黒色の斑点の数は9個が最頻値となる集団がほとんどだったが、一部の離島（慶良間諸島）では0個から10個の範囲で大きな変異がみられた（図1左）。ナミテントウでは斑点のない紅型が出現することは知られているが、クリサキテントウの紅型には必ず鞘翅後方に斑点が出ると言われている。したがって、慶良間諸島で斑紋の消失した個体は、クリサキテントウの中でも特異的であるといえる。ただし、ヒストグラムから分かるように、斑紋数で集団を二分できるものではなく、斑紋数の変異は連続的である。また、慶良間諸島の集団は、斑紋1個あたりの面積も他の集団と比べて小さかった（図1右）。

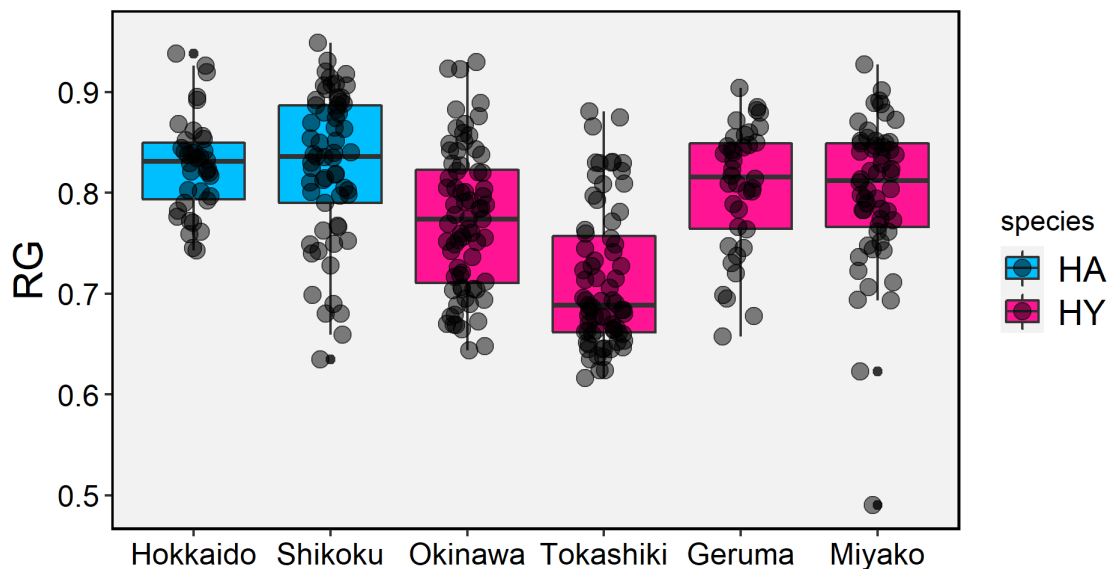


図2 各集団における RG 値。

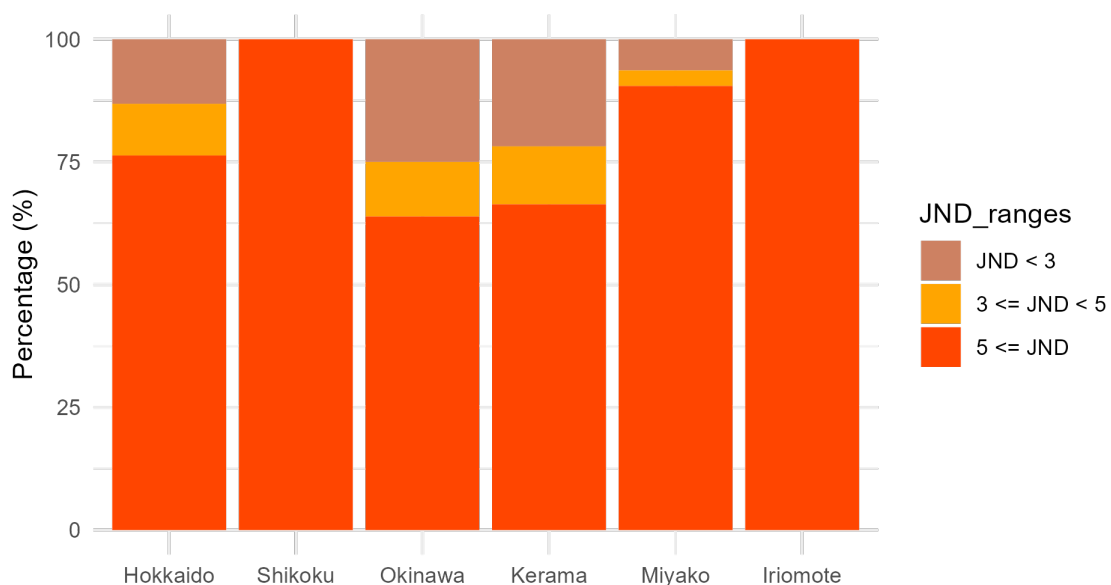


図3 各集団における隠蔽的な個体の割合。

(2) RG 値を比較してみると、集団内で変異が大きく、RG 値の低い個体も混じっている集団も見られた (図 2)。また、JND が 3 以下となる個体を隠蔽的とみなし、集団間で割合を比べてみると、隠蔽的な個体が含まれている集団とそうでない集団がみられた (図 3)。なお、北海道のナミテントウに関しては、テネラル (羽化直後) の個体が多く、鞘翅の色が隠蔽的だったと思われる。

(3) 色彩や模様に関する以上の変数を用いて主成分分析 (PCA) を行なったところ、図 4 のようなパターンを得た。慶良間諸島の集団はクリサキテントウの他の集団とは異なっている傾向がある。ただし、集団内の変異も大きく、図 3 でも明らかのように、集団内に隠蔽的な個体から警告的と思われる個体まで含まれる。図 1 からわかるように、その変異は連続的であり、隠蔽的または警告的というように、はっきりと二分されるものではない。

中間的な色彩や斑紋をもつ個体が適応上不利でないかは分からない。しかし、特に慶良間諸島では大きな変異が維持されているのは観測されたパターンの通りである。したがって、同じ集団

内に隠蔽色と警告色が共存している可能性があり、それらは中間的な個体によって連続的につながっている。このような場合、隠蔽色から警告色（またはその逆）への跳躍的な形質の進化は不要であり、漸進的な自然淘汰によって十分に進化しうるだろう。本研究の成果は、野外の集団では捕食回避に関する形質にも大きな変異が維持されていること、隠蔽色と警告色の切り替えが従来考えられてきたよりも生じやすいことを示唆している。

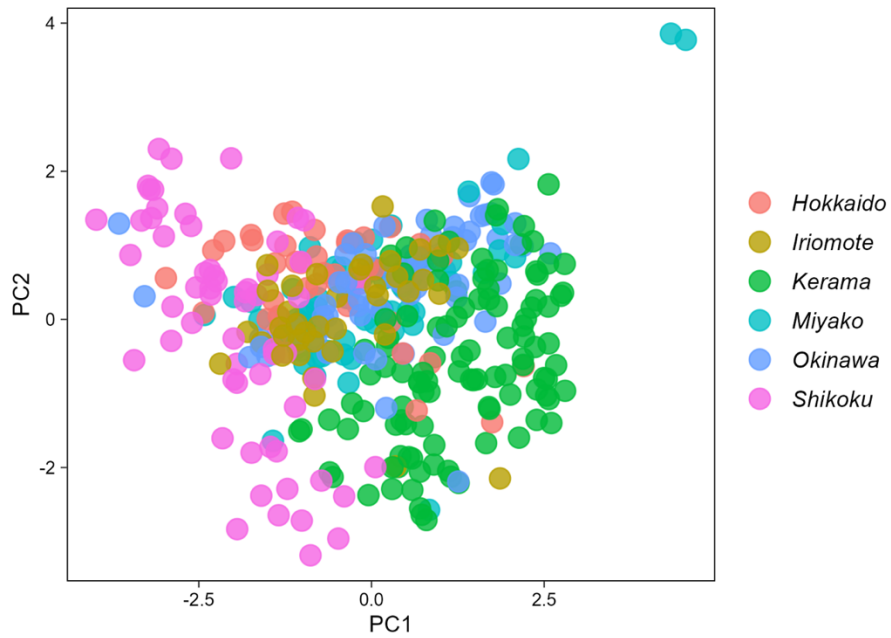


図4 主成分分析の結果。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Lim Jun Ying, Pati?o Jairo, Noriyuki Suzuki, Cayetano Luis, Gillespie Rosemary G., Krehenwinkel Henrik	4. 巻 31
2. 論文標題 Semi quantitative metabarcoding reveals how climate shapes arthropod community assembly along elevation gradients on Hawaii Island	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Molecular Ecology	6. 最初と最後の頁 1416 ~ 1429
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/mec.16323	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Iritani Ryosuke, Noriyuki Suzuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Reproductive interference hampers species coexistence despite conspecific sperm precedence	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 1957 ~ 1969
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ece3.7166	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Andersen Jeremy C., Oboyski Peter, Davies Neil, Charlat Sylvain, Ewing Curtis, Meyer Christopher, Krehenwinkel Henrik, Lim Jun Ying, Noriyuki Suzuki, Ramage Thibault, Gillespie Rosemary G., Roderick George K.	4. 巻 29
2. 論文標題 Categorization of species as native or nonnative using DNA sequence signatures without a complete reference library	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ecological Applications	6. 最初と最後の頁 e01914
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/eap.1914	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Takahashi Yuma, Noriyuki Suzuki	4. 巻 15
2. 論文標題 Colour polymorphism influences species' range and extinction risk	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biology Letters	6. 最初と最後の頁 20190228
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsbl.2019.0228	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Noriyuki Suzuki, Sugo Junki, Ohata Masaaki, Osawa Naoya	4. 巻 22
2. 論文標題 Habitat generalization of a predatory ladybird, <i>Harmonia yedoensis</i> (Coleoptera: Coccinellidae), in an allopatric area with respect to its sibling species <i>Harmonia axyridis</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Entomological Science	6. 最初と最後の頁 389 - 392
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ens.12385	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------