

(論文内容の要旨)

警告色とは、不味さと関連した目立つ色彩のことを意味する。この鮮やかな色彩を持つ動物は、捕食者に以前経験した不味い餌と自分が同じように不味いものであることを、認識させる必要がある。結果として、捕食者の経験と学習をとおして、動物の持つ警告色は互いにより似通うような自然選択を受けることが予測される。しかし現実には、種間はおろか、種内においてさえも警告色の多様性が進化し、維持されている。本研究では、イモリの警告色と、その効果を高めることが知られている警告行動の種内変異について解析し、その進化のメカニズムについて考察した。主論文1は、九州地方のイモリの警告色と警告行動が、島嶼では本土に比べてより目立つように進化していることを明らかにした。これは、機能的に類似した警告的形質が自然選択によって相関して進化するという仮説を、小進化のレベルで初めて明らかにしたものである。またイモリの生息地の生物的環境についての調査結果は、2つの警告的形質の相関した進化が、地域レベルで変動する捕食圧の違いによって生じていることを示唆した。主論文2は、調査地域を広げることで、2つの警告的形質が同一方向性の進化だけでなく、不一致な方向性の進化もおこしていることを明らかにした。すなわち、警告色には主論文1でみられた島嶼-本土間変異の他に、緯度勾配をみせる変異がみられたが、行動形質の変異には緯度勾配はみられなかった。緯度が低くなるにつれて、イモリはより目立つ警告色を持ち、島嶼-本土間変異の程度もより顕著なものとなった。本研究では、生物の持つ色彩が低緯度ほどより鮮やかに、より多様性をみせるという、19世紀の生物学者によって提起され、現在では一般にまで広く知られている地理的傾向を、小進化のレベルで初めて報告した。また本研究では、非生物的環境が2つの警告的形質間の不一致な地理的変異を産み出す可能性についても考察した。

(論文審査の結果の要旨)

警告色とは、餌動物が、自分が不味いことや毒を持っていることを潜在的な捕食者に対して、攻撃される前に知らせ、捕食を制止させる機能を持つ色彩である。この捕食制止信号をより有効に働かせるために、警告色を誇示するための行動を行う動物も存在する。この警告色や誇示行動には種内の地理的変異が存在することが知られており、それらは捕食者相や捕食圧などの違いを反映していると考えられている。しかしながら、警告色やそれに関連する誇示行動の種内変異を広範囲にわたって体系的、定量的に評価した研究はほとんどない。申請者は、フグ毒として有名なテトロドトキシンを皮膚に持つアカハライモリを対象にして、警告色と考えられている腹部の鮮明な赤色模様と捕食者への誇示行動の地理的変異を定量的に分析し、地理的パターンを検出と、その至近的、究極的要因の解明を試みた。

主論文1では、九州西部と近隣島嶼の21個体群からアカハライモリを採集し、腹部の赤色面積を数値化するとともに、各個体の誇示行動を行う傾向を実験的に定量化した。一部の個体群では潜在的捕食者相の野外調査を行い、捕食圧を評価した。これにより、腹部の赤色面積と誇示行動の行いやすさは非常によく相関したモザイク状の地理的変異を示すこと、視覚に依存しない哺乳類の捕食者が多い九州本土は、島嶼に比べて、これらの警告形質の度合いが低いことを明らかにした。主論文2では、調査対象範囲を九州から東北地方にまで広げ、44個体群を対象に解析を行った。その結果、本土と島嶼間との差は高緯度ほど小さくなること、腹面の赤色面積は緯度が高くなるほど小さくなるのに対し、誇示行動は緯度との相関を示さないことを明らかにした。この警告形質間の地理的変異パターンの不一致に関しては、赤色の発色源であるカロテノイド資源の制約が関与していると考えた。

警告色の程度の定量化、特にイモリの腹部に見られるような複雑な模様を伴う警告色の定量化を体型立てて解析した研究はこれまで皆無に等しい。申請者は、1178個体にも及ぶアカハライモリの警告色の面積をコンピューター画像解析を駆使して定量化し、その地理的変異を分布域全体にわたって明確に示した。さらに、それをGIS技術を用いて地図上に示し、警告行動との相関を検出することで、関連した形質間の相関進化の地理的モザイクという、微小進化を理解する上で昨今重要視されている現象を明らかにした。また、野外での捕食圧の調査も精力的に行った上で、生物的、非生物的要因を一般化線形モデルを用いて解析し、警告色の地理的変異を起こしている進化的要因についての解析を行った。一方、警告のための形質が必ずしも地理的に一致して変化しないことも示し、至近的な制約が表現型の地理的変異にも関与しているとした。このように、申請者の研究は、莫大なデータ量と最新の解析手法を用いて野外での現象を明らかにした点で、警告色研究の中でも突出した成果と見なせる。さらに、関連した形質の相関進化という適応論的視点だけでなく、資源量の制約による相関進化への制限という非適応論的な視点も組み入れて考察を進めており、一義的な見方にとらわれない柔軟な思考力を示している。

以上のことから、本論文は博士(理学)の学位論文として十分な価値があると認める。また、論文内容とそれに関連した研究分野について試問した結果、合格と認めた。