

(続紙 1)

京都大学	博 士（理 学）	氏名	野田 叡寛
論文題目	Predator-Induced Orange Tail Coloration in Anuran Tadpoles: Ecology, Function, and Genetic Basis （無尾類幼生における捕食者誘導性尾部呈色の生態・機能・分子的基盤に関する研究）		
（論文内容の要旨） 表現型可塑性は、生物が環境変動に応じて遺伝的变化を伴わずに形質を変化させる現象であり、その進化には外的な環境条件だけでなく、生理的・発達の制約といった内的要因も関与する。こうした要素の相互作用により、同じ環境変動下でも種間で可塑的応答の様式は大きく異なりうる。捕食者－被食者系は可塑性の発現と進化を方向づける主要な駆動力であり、両生類幼生における捕食者誘導性の形態変化はその代表的なモデルである。北米のアマガエル属の一部では、トンボ目幼生（ヤゴ類）への曝露によって幅広く鮮やかな橙色の尾が誘導されるが、このような顕著な色彩変化は限られた系統にしかな認められない。橙色尾の成立と維持には、捕食者の視覚特性や採餌様式、色彩が機能する環境条件、さらには色素生成を支える生理・分子基盤など複数の側面が関与すると考えられるが、これらがどのように形質の発現と系統内での偏在を形づくっているかは未解明である。そこで本研究では、中部・東日本産のヒガシニホンアマガエルの幼生でみられる橙色尾を対象に、(1) 捕食者種による形態・色彩変化の誘導条件、(2) 機能的意義、(3) その発現を支える生理・遺伝的基盤を明らかにすることを目的とした。 まず第2章では、4種のヤゴを含む7種の捕食者との共存実験を通して、待ち伏せ型のクロスジギンヤンマのヤゴが幅広く鮮やかな橙色尾への変化を最も強く誘導することを明らかにした。これらの形態・色彩変化はヤゴ種によってのみ誘導され、非ヤゴ捕食者では認められなかった。この結果は東アジアのアマガエル属において誘導性の尾部呈色が初めて確認された事例であり、捕食者の採餌様式や視覚特性に応じて可塑的な表現型が調節されていることを示唆した。 第3章では、橙色尾の捕食回避における機能を検証するため、幅広く橙色尾を持つ誘導個体と非誘導個体をクロスジギンヤンマのヤゴに曝露し、その攻撃位置を解析した。その結果、誘導個体の尾は胴体や非誘導個体の尾よりも高頻度で攻撃を受けた一方で、誘導個体の尾への攻撃は失敗しやすく、無傷で回避される確率も高かった。これは、橙色尾がルアーとして攻撃を尾部に誘引するだけでなく、運動に伴う視覚的攪乱などにより捕食者の攻撃精度を低下させる可能性を示唆した。 橙色尾が限られた系統でのみ進化してきた背景には、非標的捕食者への脆弱性といった生態的なコストに加え、色素合成コストといった生理的制約があると考えられる。そこで第4章では、橙色尾の分子基盤を明らかにするため、捕食者曝露群と対照群での遺伝子発現を脳・尾部の2組織、2時点（7日、14日）で比較した。脳では14日目に神経ペプチドシグナル・分泌系・グルタチオン代謝の上昇がみられ、捕食者曝露に伴う神経内分泌や代謝活性化、および抗酸化応答が示唆された。一方、尾では筋収縮やアクチン－ミオシン再編成に関わる遺伝子の発現が上昇し、誘導された幅広い尾部形態の形成過程を裏付けた。さらに、プテリジン合成・代謝関連遺伝子の発現上昇から、橙色尾がプテリジン系色素によって形成される可能性が高いと考えられた。これらの結果は、アマガエル属における橙色尾の進化が、酸化・代謝コストを調整する能力や、尾部局所的にプテリジン合成を誘導する系統特異的な性質に支えられていることを示唆する。 以上を踏まえて第5章では、本種の橙色尾が生態的・生理的にどのようなメリットやコストを伴うのかを整理し、こうした要因がアマガエル属内における誘導性呈色尾の進化的偏在をどのように形づくってきたのかを議論した。			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

生物の表現型可塑性は、環境に応じて遺伝的变化を伴わずに表現形質を変化させる現象であり、個体の生存、集団維持、進化的応答に深く関与する。捕食者の存在によって誘導される防御形質の発達はその典型例である。本博士論文は、両生類幼生における捕食者誘導性の表現型可塑性について、新たな研究系を確立し、その至近要因および究極要因の探究を行ったものである。

申請者は、日本に広くみられるアマガエル類を研究対象とした。アマガエル類は北米から東アジアにかけて分布し、北米産の一部の種では、典型的な捕食者であるトンボ目幼生（ヤゴ類）への暴露によって、幼生（オタマジャクシ）の尾部が形態変化を起こし、さらに黒色や橙色となることが知られている。日本産のアマガエル類でも通常と異なる橙色を呈した尾をもつ個体が報告されている。申請者は中部・東日本に生息するヒガシニホンアマガエルの幼生を対象に、形態・色彩変化の誘導条件、機能的意義、誘導形質の分子基盤を明らかにすることを目的に、一連の室内実験と遺伝子発現解析を行った。

申請者はまず、ヒガシニホンアマガエルの幼生と、さまざまな採餌様式をもつ4種のヤゴ類を含む7種の捕食者との共存実験を行い、カエル幼生の幅広で橙色の尾部が、捕食者誘導性の可塑的形質であることを実証した（第2章）。さらにこの可塑的形質は、ギンヤンマ類のヤゴのもとで最も速く、かつ強く発現する一方、ヤゴ以外の捕食者では誘導されないことを見だし、表現型可塑性が捕食者の採餌様式や視覚特性に応じて調節されていることを示唆する新規性の高い結果を得た。

次に申請者は、捕食者誘導形質が実際に捕食シーンにおいていかに機能しているかを室内実験により検証した（第3章）。幅広で橙色の尾部をもつ誘導個体と非誘導個体をギンヤンマ類のヤゴに曝露し、その攻撃位置と攻撃成功率を解析した。その結果、攻撃が誘導個体の尾部に有意に集中することに加え、尾部を攻撃された場合に無傷で回避される確率が高いことが明らかとなった。このことは、幅広で橙色の尾部がルアーとして攻撃を惹きつけ、さらに逃避運動に伴う視覚的攪乱を生じることにより、相乗的にカエル幼生の生存率を高めている可能性を実験的に示したものであり、生物の色彩の意義を理解する上でも価値が高い。

さらに申請者は、橙色の尾部がカエル類の限られた系統でのみ進化してきた背景への理解を進めるために、誘導形質の分子基盤をトランスクリプトーム分析により探究した（第4章）。捕食者曝露群と対照群での脳と尾部での遺伝子発現プロファイルを比較することにより、それぞれの組織において、尾部の形態・色彩の変化に関連すると考えられる複数の遺伝子群・発現経路を見いだした。なかでも尾部の橙色がプテリジン系色素の合成・局在によってもたらされる可能性が高いことを明らかにした。この結果をもとに、生態的条件だけでなく、分子基盤の観点から尾部表現型可塑性の進化条件について興味深い議論が展開されている。

以上のとおり、申請者は、カエル類幼生の表現型可塑性という、発現機構や適応的意義がよく理解されていなかった現象に対し、生態学的要因、機能的意義、分子基盤という複合的な視点に基づいて、新規性と発展性に富む成果を得るに至っている。可塑性誘導や捕食といった管理が難しい生物間相互作用を含む現象に対し、膨大で的確な室内実験を実現し、独自性の高い成果を得たことも高く評価される。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和8年1月16日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降