

論文審査の結果の要旨

氏名 西川 英輝

本論文では、適応進化の典型的な例であるベイツ型擬態がどのような分子メカニズムにより獲得・進化してきたのかに着目し、解析が行われた。擬態種であるシロオビアゲハとモデル種であるベニモンアゲハを用いて、翅の紋様の着色に必須な色素の合成機構に関して両種で詳細に解析を行った結果が述べられている。序論では、シロオビアゲハの遺伝学的な解析に対する知見（H 遺伝子により擬態紋様が制御）や形態的な特徴（メスの一部のみ擬態紋様が出現し、シロオビアゲハの非擬態型は後翅に一筋の淡黄色紋様、擬態型とベニモンアゲハでは後翅中央に丸く淡黄色紋様が形成されるのに加え、辺縁部に赤色スポットが生じる）、鱗翅目において知られている翅の紋様形成メカニズムや色素合成機構に関して論じられている。結果は大きく分けて 3 節からなっており、第 1 節ではシロオビアゲハとベニモンアゲハの蛹期の翅の着色時期の決定、第 2 節では淡黄色領域の色素合成機構、第 3 節では赤色領域の色素合成機構に関して、シロオビアゲハとベニモンアゲハの両種で比較解析した結果が述べられている。

第 1 節では、蛹期の発生様式を詳細に観察し、シロオビアゲハとベニモンアゲハの両方で、淡黄色、赤色、黒色の順に着色することが明らかにされ、色素合成が起きる時期を明確にした。

第 2 節では、シロオビアゲハの淡黄色領域が擬態型と非擬態型で領域を変化させるだけで擬態紋様を成立させているのかに関して解析した結果が述べられている。シロオビアゲハの非擬態型の淡黄色色素を、精密質量計を用いて詳細に解析したところ、非擬態型の淡黄色領域では kynurenine と NBAD の 1、2、3 量体の結合した色素を淡黄色として用いていることが示唆された。一方で、擬態型やベニモンアゲハの淡黄色領域では非擬態型とは別の色素を用いており、非擬態型で見られた淡黄色領域の紫外線による蛍光も観察されなかった。また kynurenine や NBAD 合成に関わる遺伝子も、非擬態型では着色時期に合わせて、淡黄色領域で発現上昇するのに対し、擬態型ではそのような発現上昇は起こらなかった。以上のことから、シロオビアゲハの擬態型と非擬態型では淡黄色紋様の形だけでなく、色素やその合成経路自体も大きく異なっていることが明らかとなった。このように、同種の個体間で同様な色を示す領域にも関わらず、擬態型と非擬態型で色素合成を切り替えていることが判明した。このような巧妙な切り替え機構により、擬態型の色素がベニモンアゲハの色素と物理化学的な性状が似て、効果的な擬態ができるようになった可能性が示唆された。

第 3 節では、擬態紋様に特徴的な赤色領域の色素合成に関して詳細に解析した結果が述

べられている。シロオビアゲハの赤色色素は、塩酸処理実験から重合した構造をしていることが示唆された。また RNA-sequencing と qRT-PCR から、Toll signal に関わる遺伝子や kynurenine や NBAD 合成に関わる遺伝子が赤色領域で強く発現上昇していることが明らかとなった。このことから、擬態型雌の翅では Toll 様 signal が駆動し、kynurenine や NBAD を前駆体として重合した赤色色素を形成しており、既存の免疫応答経路を改変して利用している可能性が考えられた。一方で、ベニモンアゲハの赤色色素は重合した色素ではなく、分子量が 658.2019 と 688.2126 で、NBAD や硫酸基を構成要素として含む物質であることが精密質量分析および MS/MS 解析から分かった。RNA-sequencing においても、シロオビアゲハにおいて発現上昇していた Toll signal に関わる遺伝子の発現上昇がみられず、シロオビアゲハと異なる色素合成機構により着色していることを支持する結果が得られた。今回の解析により、ベニモンアゲハの赤色とシロオビアゲハの赤色のスポットが出現する領域は互いに似通っているものの、着色物質自体は全く異なっていることが示された。擬態種とモデル種では色素や色素合成様式が大きく異なっており、擬態紋様に特徴的な赤色形成がモデルとは別のメカニズムによって収斂的に生じた形質である可能性が示唆された。

本研究により、今まで全く不明だったシロオビアゲハのベイツ型擬態における紋様形成機構に関して、擬態種とモデル種の両者について重要な情報を得ることができた。また、その紋様が擬態種でどのように獲得されてきたか、その進化プロセスに関わる分子的な手掛かりを初めて示した報告と考えられる。ベイツ型擬態のモデルとしてシロオビアゲハを使うメリットは、擬態種を生み出す遺伝的座位 H が明確に示されていることであり、今後 H 遺伝子が同定され、擬態種と非擬態種での紋様形成機構が明らかになれば、さらに明確なベイツ型擬態の進化プロセスを提示できると考えられる。以上の研究は、論文提出者が主体となって行った研究であり、博士（生命科学）学位を授与できると認められる。

以上 1921 字