

ミクロに見た構造色の擬態

齋藤彰（大阪大学大学院工学研究科精密科学専攻）*

奥山清市（伊丹市昆虫館）

擬態について

擬態は自然界の「他人の空似」として古くから多くの人々の関心を集めてきた。それは一部の研究者に限らず、幅広く人々の興味を惹きつける話題である。そして研究の俎上に載せられてからもすでに 140 年にのぼる。しかし現象自体の分かり易さに比べ、研究対象としてのとっつきにくさは極めて対照的である。事実、古くから自然選択説の証拠として注目され、長らく研究されながら、擬態は仮説として 100 年もの長きにわたって「推測」の域を出なかった。それは後述の通り、現象の客観的検証がきわめて難しいことによる。

しかも、なまじ一見して現象自体は分かり易いだけに、それは「科学」や「研究」でなく「絵本」扱いになってしまうきらいがあり、その点も不利であった。実際、1970 年の有名な著作の解説にも以前の状況について「お話であって学問ではなかった」¹⁾と、的を得た表現がなかれたとおりである。

しかし生物学的にこの現象は、「他人の」つまり遺伝子が隔たる異種同士の「空似」で、しかも広く生物に普遍的に見られる。これは収斂という概念と絡んで遺伝子のポテンシャル（あるいは潜在的方向性）に関わる一般的な問題である。にも関わらず、似ること得る利得だけを根拠に、一般には「突然変異」と「淘汰圧」の結果だと単純に言い放たれる。実は、ことはそれほど簡単ではない。実際、擬態ではどの教科書にも引用されるオオシモフリエダシャクの工業暗化の事例も従来、自然選択の好例として引用されてきたが、安易な解釈の危険性は最近も指摘されているとおりである²⁾。

では擬態の「客観的」検証が難しく、どの程度機能しているか 100 年近くも現象の真偽性すら不明だったのはなぜか。ここで擬態の詳細は文献に譲り¹⁾³⁾⁻⁷⁾、その代表であるベイツ型擬態（味がまずくて捕食者に襲われにくい種に対し、その外見を他種が真似ることで恩恵を受ける型）⁸⁾に絞って述べたい。

困難はまず対象が野生生物であるため、人為的な実験条件下では自然な行動が妨げられる点の一つ、また、捕食行動において擬態の効果を見ようにも、捕食者が学習して時々刻々、条件が変わってしまうのである。これらの困難を克服して実験での再現性を得たのは Brower の実験(1958)⁹⁾が初めてである。その後も上記の困難を抱えながら、周到な努力をもって研究が続けられ、現象自体は実験的に検証されたといっていよい。

しかし次に「認識の客観性」という難問がある。つまり、擬態は「モデル（擬態される有毒種）」「擬態者」「捕食者」の 3 体問題であり、その複雑さがすでに擬態研究を困難にしているが、それに判断する人間を加えて実は 4 体問題なのである。つまり「似る」とは人間の判断であり、捕食者が見てどうかという最も重要な点が不明なのである。実際、最大の

* e-mail: saito@prec.eng.osaka-u.ac.jp

捕食者である鳥の視覚は人間と異なり4原色で構成され、さらに虫と共通してその視覚は紫外線に感度を持つ。したがって鳥は人間と異なるパターンを見ている可能性が大きく、判断は「鳥に聞け」ということになってしまう。このことが先の例（参考文献(2)）でも大きく影響している。

本研究の目的

そこで筆者は擬態への新たなアプローチとして、人間の見た「模様（印象）」でなく「構造」、特にミクロな構造に関する類似性を調べることを考えた。その場合、構造はどこにでもある曖昧なものを都合良く解釈して比較するのではなく、特徴的で特異な構造に注目して類似性を比較するのが効果的である。そして蝶には構造色で擬態する種があり、その構造色の元になるミクロな構造を比べることに、従来なかった以下の長所がある。

1) 構造という客観性の導入。

光の波長レベルのミクロな構造による比較ならば、鳥とヒトによる任意性の問題は除外できる。

2) 擬態のメカニズムへのアプローチ。

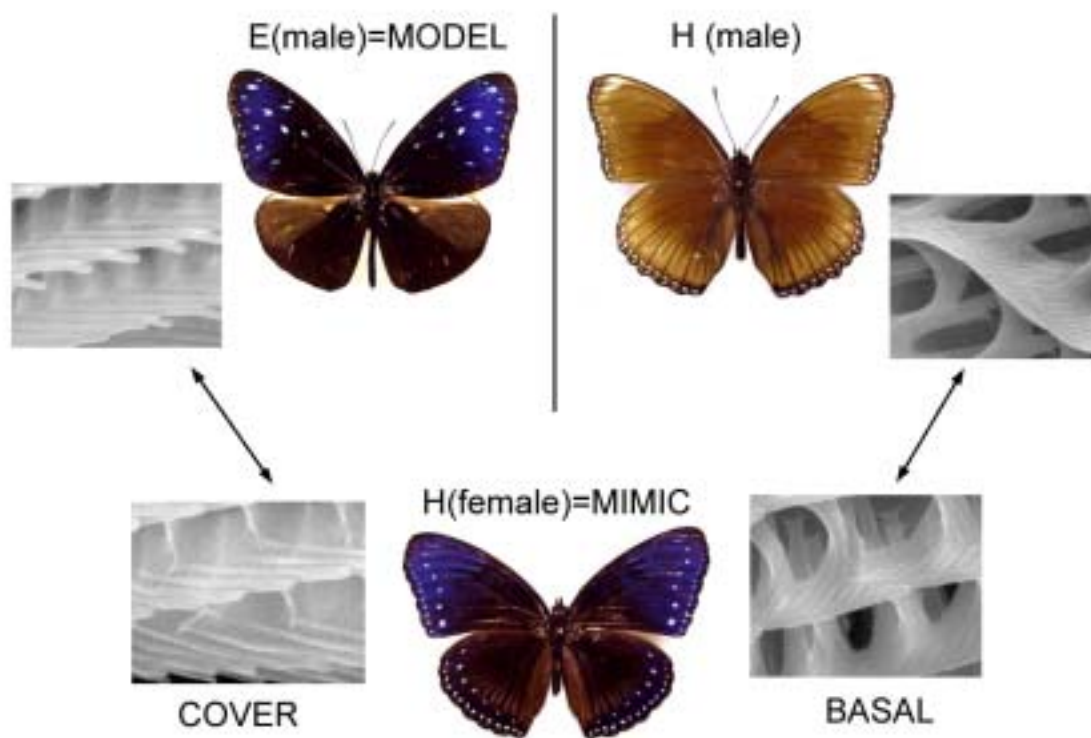
類縁の遠い種間でいかにして類似性を出しているか（ミクロにも同じか、或いは違った構造で同じ効果を出しているのか）がわかる。

結果

試料には構造色をもつ二種、モデルの有毒種ツマムラサキマダラ（*Euploea mulciber*、以下 E. と略記）と擬態種で無毒のヤエヤマムラサキ（*Hypolimnast anomala*、以下 H. と略記）を用いた。最もよく知られるベイツ式擬態の1例で、ともにわが国でも偶産する南方種である。E. はマダラチョウ科、H. はタテハチョウ科であり、分類上の類縁は遠い（種、属より上の「科」で異なる）。にも拘わらず、マクロには図の通り両者の間ではモデル E. オスに H. メスが擬態するとされている（メスのみが擬態する理由については「種の保存にとって重要な産卵の役割を担うから」という俗説は誤りであり、新しい知見が最近の擬態研究の成果にまとめられている¹⁰⁾）。

以下、ミクロ構造の観察には全て走査電子顕微鏡を用いた。その結果、まずマクロにも大きく異なる E. と H. のオス同士の違いについては歴然と異なった。具体的には鱗粉の構成要素について、モデル E.（有毒）オスでは鋭角（棒状）なユニットが積層した棚構造をしている。一方タテハチョウ科の H. オスではユニットが幅広い三角形で壁のようになる特徴が見られる。ここではそれぞれを仮に「積層型」と「壁型」と呼ぶ。実際、鱗粉構造は一般に科ごとに異なるので、その違いはうなずける。分類においては、通常用いられる交尾器や斑紋の種間差が僅少で分類困難なグループについて、鱗粉の形態が役立つとされる¹¹⁾。

一般に鱗粉は、二種類が交互に並び1列になることが知られるが（両者は二層になるので上層鱗と下層鱗と呼ぶ）、E. と H. 二種とも上下層で大きな違いは無く、E. は上下層とも積層型、H. は壁型である。



図：モデル（*Euploea* ♂：左上）と擬態者（*Hypolimnastis* ♀：下）および擬態者の同種♂（右上）との鱗粉拡大像の比較。

次に肝心の擬態種 H.メスであるが、モデルとの類縁関係は遠く、通常は鱗粉構造が異なる筈である。そうすると、色素で構造色は出せないの、構造色の擬態については別の原理の構造色か、それともさらに別の手段で擬態しているのだろうか。

観察結果は図の通り、上層鱗はモデルの多層構造と区別がつかないほど酷似している。下層鱗はむしろ、同種オスとほとんど同じ三角形ユニットで、縦筋の入った壁になっていることがわかる。結局擬態者については、上層鱗で（科をとび越えて）モデルと同じ「多層型」をとり、下層鱗では同種のオスと同じ「壁型」になる、ということである。換言すれば、下層鱗は種の本性に与しながら、上層鱗でミクロ構造を擬態して効果を出している、ということである。

現在わが国ではかつての状況と異なり、特にこの 10 数年で擬態研究が活発化している³⁻⁶⁾。まさに今、この難問にさまざまな角度から挑戦しうる機運である。擬態は最近になって、旧来の視覚的な外部形態によるだけでなく音や化学信号におけるものが見つかり¹²⁾、それに応じて化学擬態、分子擬態という概念が作られ、新しい流れが始まっている。本研究では「ミクロな擬態」と呼ぶことで化学擬態と混同されるのを恐れ、ミクロな「構造擬態」という概念を置いた。それは新しい概念だが、無理に擬態型を新設したわけではない。むしろ新しい擬態型という「横系」でなく、客観性とメカニズム解明を目指した「縦系」へのアプローチと考えている。

参考文献：

- 1)日高敏隆：解説／羽田節子訳『擬態 (W.Wickler : "Mimicry in Plants and Animals", McGraw-Hill、NY.(1968))』、平凡社(1970)
- 2)柴谷篤弘："オオシモフリエダシャクの工業暗化 ～ "、昆虫と自然、Vol.34、No.4、8、10、14、(1999)
- 3)『特集：昆虫の擬態』、昆虫と自然、30(12)、pp.2-24(1995)
- 4)『特集：擬態の生態学』、生物科学、49(1)、pp.1-48(1997)
- 5)『特集：昆虫のミミクリー』、昆虫と自然、36(12)、pp.2-27(2000)
- 6)上田恵介ほか：『擬態 だましあいの進化論 』築地書館(1999)
- 7) M.Edmunds : "Defense in animals"、Longman Group Ltd.、London.(『動物の防衛戦略』小原嘉明・加藤義臣訳、培風館(1980))
- 8)H.W.Bates : Trans.Linn.Soc.Lond.23、495-566、(1862)
- 9)J.V.Z.Brower : Evolution 12、 pp.32-47, pp.123-136, pp.273-285(1958)
- 10)N.Ohsaki:"Preferential predation of female butterflies and the evolution of batesian mimicry"、 Nature 378、 1995、 173-175.
- 11)片岡英子："鱗粉の構造と種の分類"、昆虫と自然、32(11)、pp.9-15(1997)
- 12)『特集：化学擬態の世界』、生物科学、50(3)、pp.129-149(1998)
- 13) 本研究のより詳細な報告は下記に掲載。
齋藤彰: "ミクロな構造擬態" , OplusE, 2000, Vol.23 (3), 2001-Mar, 319-322.