

令和 3 年 1 月 5 日
愛 媛 大 学

昆虫の「至高のコケ擬態」のからくりに迫る —イモムシがもつ"柔らかいツノ"の多面的な機能を発見—

愛媛大学大学院理工学研究科 今田弓女助教は、「生物の多様なかたちは、環境や他生物との関わりの中かでいかに方向づけられてきたか」という生物学上の普遍的な問いに切り込むため、コケ類に巧妙に擬態する特異な昆虫の生態、形態とその機能を解明しました。

コケ類を食べるシリプトガガンボ亜科（ハエ目）昆虫の幼虫のコケ類に似た姿は 2 世紀以上前から知られ、注目を集めてきました。しかしあまりに精巧な擬態ゆえに採集が困難で、ほとんどの種の幼虫が未知でした。本研究では、長年の調査のすえ、本亜科の 5 属 8 種の幼虫を発見、記載し、その生態と形態を解明しました。幼虫のコケ擬態には「肉質突起」という"柔らかいツノ"が関わっており、その形は種ごとに異なり、生息環境や食草と深く関連していることが判明しました。さらに、肉質突起の一部はイモムシの腹脚に似て発達した筋肉を内部にもち、幼虫の運動に関与することを発見しました。元来は地中にいたものが陸上の植物食者となるのに伴って、陸上生活に適した運動性を獲得したり、多くの天敵から身を守る必要があったと考えられます。柔らかいツノのような不可思議な構造はほかの昆虫の幼虫からも知られていますが、それが多面的な役割を果たしていることを示した世界で初めての例といえます。

本研究成果は、2020 年 12 月 25 日に英国リンネ協会の発行する動物学の国際学術誌「Zoological Journal of the Linnean Society」にオンライン掲載されました。

つきましては、是非ともご取材くださいますようお願いいたします。

記

掲載誌: Zoological Journal of the Linnean Society (2020) XX: 1-49.

題 名: Moss mimesis *par excellence*: integrating previous and new data on the life history and larval ecomorphology of long-bodied crane flies (Diptera: Cyndrotomidae: Cyndrotominae)

著 者: Yume IMADA

論文 PDF は下記リンクからダウンロードできます。

<https://academic.oup.com/zoolinnea/advance-article-abstract/doi/10.1093/zoolinnea/zlaa177/6048384?redirectedFrom=fulltext>

※送付資料 3 枚（本紙を含む）

本件に関する問い合わせ先

愛媛大学大学院理工学研究科

助教 今田 弓女

TEL : 089-927-9632

Mail : imada.yume.wp@ehime-u.ac.jp

【研究の背景】

多くの生物は、色や形によって周囲の環境に溶け込むような姿形をもつ「隠蔽擬態」によって、視覚的に狩りをする捕食者（鳥やトカゲなど）の目を逃れています。生物の擬態は非常に魅力的な適応進化として歴史的に多くの研究がなされてきました。そのほとんどは、体色や模様に着目していません（枯葉に擬態するコノハチョウなど）。一方、擬態には物理的な構造物（突起など）も関わりと考
えられますが、そうした構造物の役割に焦点を当てた研究は過去にほとんど例がありません。

「シリプトガガンボ亜科」という昆虫の幼虫の姿は、他の多くの「ガガンボ類（注1）」と大きく異なり、植物に巧妙に擬態しています（次頁図）。とくにコケ上にすむ幼虫は、植物に紛れ込みやすい体色だけでなく、「肉質突起」とよばれる柔らかいツノのような構造物をもっています。しかし、精巧な擬態ゆえに幼虫の採集は難しく、本群を扱った研究は過去半世紀ほどありませんでした。本研究では、「生物のさまざまな色や形が環境と他生物（餌生物や天敵）との関係のなかでどのように方向づけられているか？」という生物学上の普遍的な問題に切り込むため、本群の昆虫がいかにコケな
どの植物と関わり、それに擬態しているかを調べました。

（注1）ガガンボ類：ハエやカ仲間なかで初期に出現した昆虫で、成虫は大きなカのような姿をしています。一般に、ガガンボ類の幼虫は脚をもたない「ウジ虫型」で、土や落ち葉の下、水中などの目立たない環境に生息します。

【成果の内容】

今田弓女助教（愛媛大学大学院理工学研究科）は、およそ10年間にわたる野外での探索のすえ、日本列島および北米大陸に分布する5属11種の幼虫の発見・記載に成功し、その生活史を解明しま
した。さらに、それらの幼虫の飼育、行動・形態観察によって、(1) 幼虫の形態は生息環境などどの
ように関連しているか、(2) 肉質突起はどんな役割を果たしているかを解明しました。

(1) **生態と形態の関連性**：本群の幼虫はすべて植物食者で、コケまたは被子植物を食べ、陸上から水中に至る多様な環境に住んでいました。食性の異なる種の間では、形態（体色、斑紋、肉質突起）と行動習性（外部からの刺激に対する防衛など）も異なっていました。このことから、一連の形態・行動の違いは、異なる天敵のいる環境への適応である可能性が示唆されました。とくに陸生コケ食者
は、複雑に発達した肉質突起と斑紋パターンによって周囲のコケの陰影や輪郭を真似ることで、視覚
の優れた天敵の目をごまかしていると考えられます。

(2) **擬態に関わる肉質突起の多面的な機能の発見**：陸生コケ食者の運動性と内部構造を調べた結果、体の側面にある突起は、内部に筋肉が発達し、イモムシ（チョウ類の幼虫）の「腹脚」のような
構造をなしており、それを前進する際の運動に役立てていることを初めて発見しました。これらの突
起は、湿っていて足場の不安定なコケの上を這うように動き回るのに適した構造と考えられます。

【今後の展望】

柔らかいツノの役割と進化：柔らかいツノのような構造は身近な昆虫の幼虫からもいくつかの例が知られていますが、そのほとんどについて機能は分かっていません。こうした構造物の役割を探ることで、多様な陸上環境に進出した昆虫の、人智を超えた生存戦略の理解に迫ることが
できます。

コケ擬態のパラドックス：シリプトガガンボ類の巧妙なコケへの擬態は、なんらかの視覚の優れた捕食者がいたために起源したと考えられますが、そうした天敵は未知です。本群の住処である林床
を覆うコケの絨毯は、大型の捕食者が少ない「天敵不在の空間」と表現されます。この一見パラドキ
シカルな進化の謎を解くには、天敵との関係を明らかにする必要があります。

【社会的な意義】

シリプトガガンボ類はすぐれた擬態ゆえにほとんど人目に触れることがありませんが、目を凝らすと、日本各地の人里近くの池や沢、道端のコケからも見つけることができます。本研究は、身近な自然のなかにある適応進化の例を通して、そうした自然のもつ「無形の価値」に関心を向けるきっかけを与えうるといえます。また、擬態は長い時間にわたって生物種どうしが関係し合うことで創りだされた進化の妙ともいえ、生物間の繋がりのおかげのなさを強調するものです。

【発表のポイント】

- 陸上で植物を食べる昆虫では、生態、行動、形態などのさまざまな適応が進化した。
- 昆虫の幼虫のもつ柔らかいツノのような構造が、天敵からの保護や運動といった多面的な機能を同時にもちうることを世界に先駆けて発見した。
- 昆虫による植物への精巧な擬態が周囲の環境や他生物との関係と深く結びついていることを、長年の野外観察によって解明した。

シリプトガガンボ亜科の幼虫において
コケへの隠蔽擬態はいかに進化したか ?

今田弓女 (愛媛大学大学院理工学研究科)
E-mail: imada.yume.wp@ehime-u.ac.jp

1. どこに生息し、どんな餌を食べる？

すべての種が“植物食”

陸 被子植物食

さまざまな草本
(一部木本)
15 目



水 コケ食

ミズゴケ科
カワゴケ科
2 目



陸 コケ食

マゴケ目
チョウチンゴケ科
ハイゴケ目
シノブゴケ科
ハイゴケ科
ヒラゴケ科
ヒゲゴケ科
アオギヌゴケ科



注目！
種ごとに多様な形態は
生息環境と関連する

2. どうやってコケを真似ている？

擬態には **3つの要素** が関わる



注目！
肉質突起

体表に多数ある“柔らかいツノ”

3. 突起の機能とは？
- 2つの仮説 -

水生種

呼吸器仮説
(古くからある仮説)

電子顕微鏡 (SEM)
で気門を観察

水中に溶けた酸素を取り込む“エラ”？



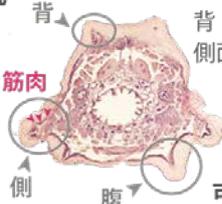
開放した
気門
突起は
呼吸器として
重要ではない

新仮説
陸生種

運動仮説

側面の突起は運動のため？

横断面の
連続切片



背・腹面突起：肥厚した表皮
側面突起：内部に**筋肉**が発達

側面突起は幼虫の
蠕動運動に使われる
可能性が初めて示唆された