

論文

前蛹色を用いたフタオビドロバチ属2種の識別法

辻井 美咲¹⁾・遠藤 知二²⁾

1) 神戸女学院大学 人間科学研究科・2) 神戸女学院大学 人間科学部

Identification method for two species of the genus *Anterhynchium* (Eumenidae, Hymenoptera) using body color of prepupa

Misaki Tsujii¹⁾, Tomoji Endo²⁾

(1) Graduate School of Human Sciences, Kobe College, 2) School of Human Sciences, Kobe College)

Abstract

A mason wasp *Anterhynchium flavomarginatum micado* is known as one of the most common species utilizing bamboo trap-nests in Japan. In recent years, another mason wasp *A. gibbifrons*, which was newly described and known so far only in Japan, rapidly spread in south-western Japan. These two mason wasps sometime occurred in the same trap-nest, but cannot be identified before adult emergence. Thus, we tried to distinguish them by means of discriminant analysis using body colors at prepupal stage of the wasps as independent variables. Body colors were measured as RGB values for digital images of prepupae from nests of both species obtained in Sasayama and Sanda, Hyogo prefecture in 2017. Body colors were significantly different between *A. f. micado* and *A. gibbifrons*, and prepupa of the latter was more orangish than that of the former. The results of discriminant analysis showed that more than 90% of these two mason wasps were successfully distinguished only on the basis of their prepupal body colors.

Key words : trap-nest, *Anterhynchium flavomarginatum micado*, *Anterhynchium gibbifrons*, prepupal body color, discriminant analysis

キーワード : 竹筒トラップ、オオフタオビドロバチ、オデコフタオビドロバチ、前蛹の体色、判別分析

はじめに

ドロバチ科のフタオビドロバチ属(*Anterhynchium*)はアジア東部からアフリカにかけて分布している(寺山・須田 2016)。日本ではオオフタオビドロバチ(*A. flavomarginatum*)、ハグロフタオビドロバチ(*A. melanopterum*)、オデコフタオビドロバチ(*A. gibbifrons*)の3種が生息している。普通種であるオオフタオビドロバチは13亜種が南アジアから東アジ

アまで分布しており、日本の北海道、本州、四国、九州に分布しているものは本土亜種(*A. f. micado*)とされる(Yamane 1990)。このオオフタオビドロバチ本土亜種の成虫活動時期は6月上旬～10月中旬で、部分2化性と考えられている(Yamane 1990)。内径10 mm程度の筒に営巣する借坑性カリバチであり、筒内には泥壁で仕切られた育室を2、3セル作るが、しばしば育室と育室の間や筒口近くに空室

を設ける(岩田 1975)。獲物としてメイガ科、ハマキガ科、ヤガ科など葉を巻くチョウ目幼虫を狩り、育室に貯蔵する(Itino 1992)。ハグロフタオビドロバチは本州、四国、九州、対馬に分布しているが(Yamane 1990)、福井県で絶滅危惧種に指定されるほど個体数が少なく、詳細な生態は不明である。オデコフタオビドロバチは2013～2014年の福井県で行われた調査で発見され、記載された種である(Yamane & Murota 2015)。本種はその後、静岡、岐阜、大阪、奈良、和歌山、兵庫、鳥取、愛媛の1府8県で既存標本より分布が確認された(Yamane & Murota 2015; 大草 2015)。遠藤(2017)によると、オデコフタオビドロバチはオオフタオビドロバチとよく似た巣を作るが、利用する竹筒の内径サイズや巣に含む空室数、天敵相に違いが見られた。また、兵庫県三田市で行った大西(2015)の竹筒トラップ調査では、同一トラップから両種の営巣が確認されており、オオフタオビドロバチとオデコフタオビドロバチの生息は重複していることが明らかとなった。両種は外部形態が酷似しているが、成虫の頭盾や前胸背面の黄斑の形状、オスの交尾器挿入器の形状およびメスの頭部の隆起の有無などで両種を区別することができる(Yamane & Murota 2015)。しかし、両種は幼虫形質による分類はなされておらず、現在のところ、成虫にならないと同定することができない。

近年竹筒トラップなど、トラップネストに営巣するハチ類の群集データを生物多様性の指標とした景観生態学的研究がさかんに行われているが(Taki *et al.* 2008; Steckel *et al.* 2014; Grass *et al.* 2018)、こうした群集データでは営巣ハチ類が十分な精度で分類される必要がある。これらのハチ類の巣は、しばしば種によって特徴的な育室の仕切り材、獲物種、まゆの形態をもつため、巣に含まれる情報から正確な種の同定が可能である。このことは、例えば巣の全体が捕食寄生者によって死亡し、営巣種の成虫を得られないような場合でも営巣種を特定することを可能にしており、営巣ハチ種・天敵関係の定量

的な評価に際して生じうるバイアスを最小限にとどめるのに役立つ。しかし、近縁種では利用する巣の仕切り材や獲物種が類似し、巣の構造だけでは厳密に営巣種まで同定できない場合がある。辻井(2017)は兵庫県三田市、篠山市および高砂市の竹筒トラップ調査で得られた巣から、オオフタオビドロバチとオデコフタオビドロバチの巣の構造を比較した。その結果、育室数や空室数、利用する竹筒の内径には違いが見られたが、いずれも変異が大きく、巣の構造に関するデータだけでもとづいて両種を区別することは、現時点では難しかった。しかし、巣の構造とは別に、辻井(2017)はオオフタオビドロバチとオデコフタオビドロバチの前蛹の体色が異なっていることに気がついた(図1)。ここでは、羽化前の両種を同定する方法の確立を目的として、前蛹の体色を量的に測定し、判別分析を適用することで両種の区別が可能かどうかを検討した。加えて、辻井(2017)では扱えなかった羽化後の成虫標本を用いて精度を高めた。

方法

本研究で分析を行ったオオフタオビドロバチとオデコフタオビドロバチのデータは、辻井(2017)が兵庫県三田市、篠山市で行った竹筒トラップ調査によって得られたものである。調査はJR福知山線の南矢代駅、古市駅、草野駅、相野駅、広野駅から徒歩20分圏内にある田園地域で行った。竹筒トラップには一端が開口した節つきの竹筒(長さ20cm)を使用した。内径18～22mm(LL)、13～16mm(L)、8～12mm(M)のマダケ(*Phyllostachys bambusoides*)と5～7mm(S)のメダケ(*Pleioblastus simonii*)をLL、L、M、Sの組み合わせで3回繰り返し、園芸用ビニールワイヤーですだれ状に編み、合計12本で1基のトラップとした。調査地点は12地点とし、1地点あたり5基のトラップ、合計60トラップを設置した。南矢代と古市では3地

点、草野、相野、広野では2地点ずつ、いずれも放棄水田や畑の近くなどを選び、開けた空間に開口部が向くように設置した。地点内のトラップは約30 m間隔で設置し、トラップは立木や建物の柱などの地上から高さ約1.5 mのところまでビニル紐で固定した。トラップの設置期間はオオフタオビドロバチの活動時期に合わせ、2017年6月12日～10月30日とした。週1回トラップを見回り、イネ科草本などを竹筒に差し込んで、巣の有無や営巣長を記録した。営巣完了したフタオビドロバチ属の巣は回収し、同等の内径サイズをもつ空の竹筒を補充した。回収した竹筒は研究室に持ち帰って解体した。得られたフタオビドロバチ属の巣の一部は、野外調査時に営巣中の母バチを観察し、種を同定することができたが、大半の巣はこの時点では種が不明であった。これらは育室ごとに小型シャーレに移し、前蛹になるまで飼育した。前蛹になったハチは個体ごとにスクリュー管へ移し、綿栓をして羽化するまで飼育した。羽化したハチは標本にし、種まで同定した。

データ解析

前蛹の体色データを用いた判別分析を行うために、営巣中の母バチを確認できたオオフタオビドロバチ越冬巣22巣、オデコフタオビドロバチ越冬巣5巣、母バチが確認できず2017年時点で種の同定ができなかったフタオビドロバチ属越冬巣100巣のそれぞれから、生存していた前蛹を1個体ずつランダムに選び、同年11月27日にデジタルカメラ（Canon, IXY210）で撮影し

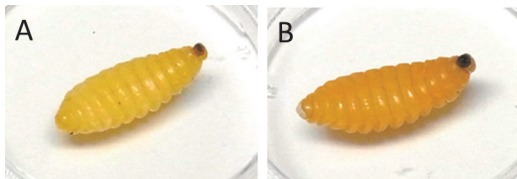


図1 オオフタオビドロバチ (A) およびオデコフタオビドロバチ (B) の前蛹。

た。前蛹は巣の番号を書いたコピー用紙の白紙上に6個体ずつ並べ、室内の白色蛍光灯下で撮影した。撮影時、被写体に撮影者の影がかからないようにし、光による反射を避けるため、カメラのフラッシュは使用しなかった。2018年に羽化し、同定できたフタオビドロバチの巣はオオフタオビドロバチ85巣、オデコフタオビドロバチ14巣となった。これらの巣は2017年に前蛹を撮影したものであるが、1個体のみ前蛹で死亡し、種の同定ができなかったため、分析からは除外した。前蛹の画像は、全体的に写真が暗かったため、明るさを40%高める修正を加えた上で、体色を測定した。この修正により、背景（白紙）のRGB値（平均±SD）は、 $R=187.5 \pm 3.9$ 、 $G=186.9 \pm 4.3$ 、 $B=189.0 \pm 4.7$ となり、画像によるばらつきは比較的軽微だったため、それ以上の画像の調整は行わなかった。体色の測定には画像解析ソフトImageJのカラーピッカー機能を用いて、各前蛹の皺の影とハイライトを避けた部分からRGB値を抽出した。判別分析では、これらRGBの3つの値を説明変数として用いた。判別分析は、まず2017年時点で営巣

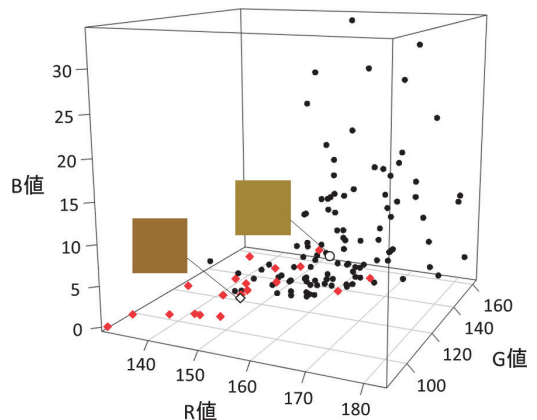


図2 測定されたオオフタオビドロバチ (●) およびオデコフタオビドロバチ (◆) の前蛹のRGB値の分布。両種のRGB値の中央値を記号 (○オオフタオビドロバチ、◇オデコフタオビドロバチ) と色で示した。

種が分かっていた巣の前蛹色をトレーニングデータ（オオフトオビドロバチn=22、オデコフトオビドロバチn=5）、その時点で種が不明のものをテストデータ（フトオビドロバチ属n=99）として扱った。次に、2018年に同定した個体の前蛹色すべてを用いて判別分析を行い（オオフトオビドロバチn=107、オデコフトオビドロバチn=19）、先の判別分析の結果と比較した。判別分析にはRのlda関数を使用した（R Core Team 2017）。判別分析で用いたRGB値を個別で比較するために、マン・ホイットニーのU検定を行った。

結果

測定されたオオフトオビドロバチとオデコフトオビドロバチのRGB値の分布を3次元で表現すると、図2のようになった。各RGB値（中央値）は、オオフトオビドロバチではR=161（レンジ：141-183）、G=136（レンジ：113-163）、B=5（レンジ：0-34）だった。一方、オデコ

フトオビドロバチではR=149（レンジ：131-169）、G=111（レンジ：87-132）、B=2（レンジ：0-7）であり、各値は両種で有意に異なっていた（マン・ホイットニーのU検定、R値: p<0.001; G値: p<0.001, B値: p<0.01）。両種を比較すると、オオフトオビドロバチの方がオデコフトオビドロバチよりもRとGの値が大きくなる傾向があった。B値の平均値は両種ともほぼ同じ値だったが、オオフトオビドロバチの方が大きなばらつきを示す傾向があった。

2017年に営業中の母バチによって種を確認できた巣の前蛹色をトレーニングデータとしたときは、以下の判別式が得られた。

$$f = 0.148R - 0.240G + 0.0656B - 5.685 \quad (1)$$

トレーニングデータでは、両種はこの判別式によって重複なく分離された。この式をテストデータに適用したとき、オオフトオビドロバチと判別されたものは88個体、オデコフトオビドロバチに判別されたものは11個体だった。これらを2018年に確定した種名の結果と比較する

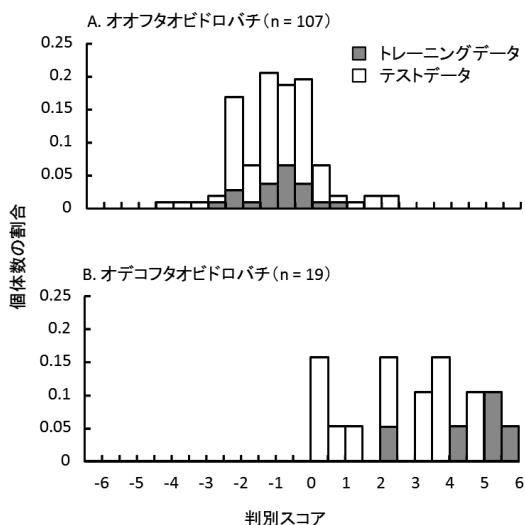


図3 オオフトオビドロバチ (A) およびオデコフトオビドロバチ (B) の前蛹色を用いた判別分析における判別スコアの頻度分布。2017年に営業種を確認できた巣の前蛹色をトレーニングデータとした結果。

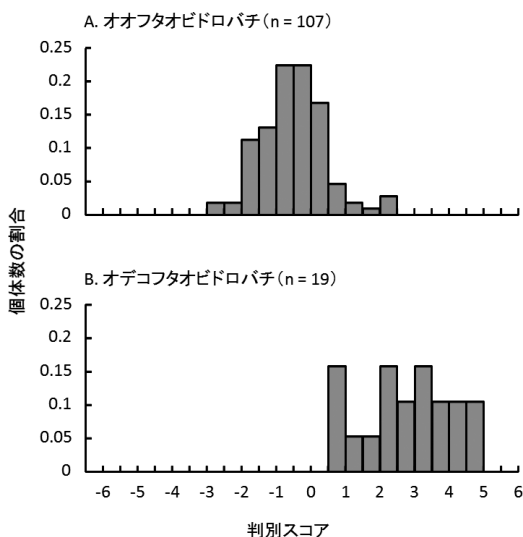


図4 オオフトオビドロバチ (A) およびオデコフトオビドロバチ (B) の前蛹色を用いた判別分析における判別スコアの頻度分布。2018年に営業種が確定した両種の前蛹色をデータとした結果。

と、オオフタオビドロバチと判別されたもののうち83個体、オデコフタオビドロバチと判別されたもののうち9個体が正しく判定されていた（正答率はそれぞれ94.3%、81.8%）。両種を合わせると正答率は平均92.9%だった。判別分析より得られた両種の判別スコアの分布を図3に示した。オオフタオビドロバチではスコアのピークが-1.5~-1で見られたが、オデコフタオビドロバチでは値のばらつきが大きく、はっきりとしたピークが見られなかった。

2018年に種名の確定したすべてのデータを用いて判別分析を行ったところ、以下ようになった。 $f = 0.186R - 0.227G + 0.0208B + 0.840$ (2)

この式では、オオフタオビドロバチは107個体中103個体（96.3%）、オデコフタオビドロバチは19個体中15個体（78.9%）が正しく判定されていた。全体では93.7%が正しく判定された。(2)式で得られた判別結果は(1)式の判別結果とほぼ同じとなった。それぞれの判別スコアの頻度分布は図4ようになった。オオフタオビドロバチでは-1~0で判別スコアのピークが見られたが、オデコフタオビドロバチではほぼ一定となった。図4は図3に比べ、判別スコアの値のばらつきが両種とも小さくなり、まとまりのある分布を示した。

考察

本研究ではオオフタオビドロバチとオデコフタオビドロバチを前蛹色で区別することができるのか検討した。RGB値を使用して判別分析を行うと、(1)式と(2)式で判別結果に大きな違いは見られなかった。前蛹色を用いることでほぼ両種を区別することが可能であるが、一部区別できないものもあった。今回分析に使用したデータ数は、オオフタオビドロバチが107個体であるのに対し、オデコフタオビドロバチは19個体とかなり少ない。オデコフタオビドロバチのデータが増えれば、判別分析の結果も改善するかもしれない。分析には画像から抽出した

前蛹色を使用したため、撮影時の照明環境や使用するカメラの設定などに大きく影響される可能性が高い。今回使用した画像はすべての前蛹を同じ条件下で撮影し、一様に画像の修正を行ってから色を抽出した。個々に修正することで画像の質を均一にすることが今後の課題である。今回は前蛹を用いて分析を行った。両種とも前蛹で越冬するため、同定するには翌年の初夏まで飼育しなければならない。だが、前蛹の体色で両種を区別する方法であれば、前蛹まで成長した時点で翌年まで待たなくとも速やかにデータ化することができる。また、前蛹化後にホストを死亡させるムモンオオハナノミ (*Macrosiagon nasutum*) やコウヤツリアブ (*Anthrax aygulus*) などの捕食寄生者に寄生されていたとしても、営巣種を識別することが可能となる。このように、前蛹の段階で分析ができることにはメリットがあるが、前蛹になる前にホストを死亡させるドロバチヤドリニクバエ (*Amobia distorta*) のような捕食寄生者に寄生された場合、この分析方法は使用できない。今後は成虫や前蛹が得られなかった巣からでも入手できるデータを元にして、両種を区別できるよりよい方法を探索する必要がある。

オデコフタオビドロバチの前蛹色は、オオフタオビドロバチよりも赤みが強い(図1)。この種の前蛹は、エントツドロバチ (*Orancistrocerus drewseni*) やヤマトフタスジズバチ (*Discoelius japonicus*) など他のドロバチ科の前蛹と比べても赤みが強い印象があった。昆虫にとっての体色の役割は、捕食者に対する隠蔽や警戒、または異性に対するアピールなど、さまざまである。しかし、これらのハチの前蛹は巣の中にいるため、体色に何らかの適応的な意味があるとは考えにくく、生理的な要因に由来する副次効果と思われる。前蛹は蛹になる一段階前の状態で、越冬世代のオオフタオビドロバチやオデコフタオビドロバチでは休眠ステージである。朝比奈(1991)はイラガ (*Monema flavescens*) およびエゾシロチョウ (*Aporia crataegi*) の幼虫は、越冬する前に体色

が赤味を帯びると述べている。また、Michieli & Žener (1968) はミナミアオカメムシ (*Nezara viridula*) の成虫が越冬する際、体色が緑色から赤色に変化する個体があり、赤色の個体の酸素消費量が少ないことを明らかにした。体色が赤くなることと休眠および越冬との関係は明らかではないが、何らかの色素をもつ物質が休眠において重要な役割を果たしているのかもしれない。オデコフタオビドロバチは8月頃に営巣し、その後、巣の中のハチ子は前蛹の段階で長い休眠に入る (辻井 2017)。長い休眠期間を過ごすためには、酸素消費量を抑えるなどの生理的な変化が必要であるかもしれない。

オオフタオビドロバチは部分2化性、オデコフタオビドロバチは年1化性である。両種で異なる生活史の違いは、休眠生理とも関係しているのかもしれない。

引用文献

- 朝比奈英三 (1991) 虫たちの越冬戦略－昆虫はどうやって寒さに耐えるか。北海道大学出版会。
- 遠藤知二 (2017) 竹筒トラップを用いた生物多様性モニタリングの有効性：オデコフタオビドロバチの事例。野生復帰, 5, 3-8.
- Grass, I., Jauker, B., Steffan-Dewenter, I., Tschardt, T. & Jauker, F. (2018) Past and potential future effects of habitat fragmentation on structure and stability of plant-pollinator and host-parasitoid networks. *Nature Ecology & Evolution*, 2, 1408-1417.
- Itino, T. (1992) Differential diet breadths and species coexistence in leafroller-hunting eumenid wasps. *Researches on Population Ecology*, 34, 203-211.
- 岩田久二雄 (1975) 自然観察者の手記－昆虫とともに五十年－。朝日新聞社。
- Michieli, Š. & Žener, B. (1968) Der Sauerstoffverbrauch verschiedener Farbstadien bei der Wanze *Nezara viridula* (L.). *Zeitschrift für vergleichende Physiologie*, 58, 223-224.
- 大草伸治 (2015) オデコフタオビドロバチの分布について。つねきばち, 27, 1-2.
- R Core Team (2017) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Steckel, J., Westphal, C., Peters, M. K., Bellach, M., Rothenwoehrer, C., Erasm, S., Scherber, C., Tschardt, T. & Steffan-Dewenter, I. (2014) Landscape composition and configuration differently affect trap-nesting bees, wasps and their antagonists. *Biological Conservation*, 172, 56-64.
- Taki, H., Viana, B. F., Kevan, P. G., Silva, F. O. & Buck, M. (2008) Does forest loss affect the communities of trap-nesting wasps (Hymenoptera: Aculeata) in forests? Landscape vs. local habitat conditions. *Journal of Insect Conservation*, 12: 15-21.
- 寺山守・須田博久 (2016) 日本産有剣ハチ類図鑑。東海大学出版部。
- 辻井美咲 (2017) フタオビドロバチ属2種の生態と営巣行動の比較研究。神戸女学院大学人間科学部環境・バイオサイエンス学科2017年度卒業研究。
- Yamane, Sk. & Murota, T. (2015) A new *Anterhynchium* species from Japan, with a key to the Northeast Asian species of the genus (Hymenoptera, Eumenidae). *Halteres*, 6, 95-103.
- Yamane, Sk. (1990) A revision of the Japanese Eumenidae (Hymenoptera, Vespoidea). *Insecta Matsumurana New Series*, 43, 1-189.