

令和5年度中学生・高校生の科学・技術研究論文 中学校 個人研究の部 最優秀賞



ミドリシジミ類のオスの翅の色味・輝きの役目

福島大学附属中学校

2年 守谷 史佳

研究背景・目的

○去年の研究で明らかにしたこと・検証に不足があったこと

去年の研究では、ミドリシジミ類のオスの翅の角度別の見え方を観察した結果(図1)、頭を上を60度傾けた時(頭の方向から60度傾けた状態)に最も色が濃く見えた(図2)。そして晴れの日と曇りの日には、曇りの日の方が翅の色が濃く見えることを確認した(図3)。また、野外観察を行い、ミドリシジミ類のオスが翅を広げて占有行動をしたり(以下、これを単に「占有行動をする」という)、卍巴飛翔をしたりする様子を確認した(図4)。これらの結果から、占有行動や卍巴飛翔をしている際にオス同士が互いの存在を確認していると考えた。しかし、ミドリシジミ類のオスの翅の輝きが実際に役立っているのかを実証するには至らなかった。また、そもそもミドリシジミ類が人間と同じような色覚で他のミドリシジミ類の翅を見ているのかは分からなかった。

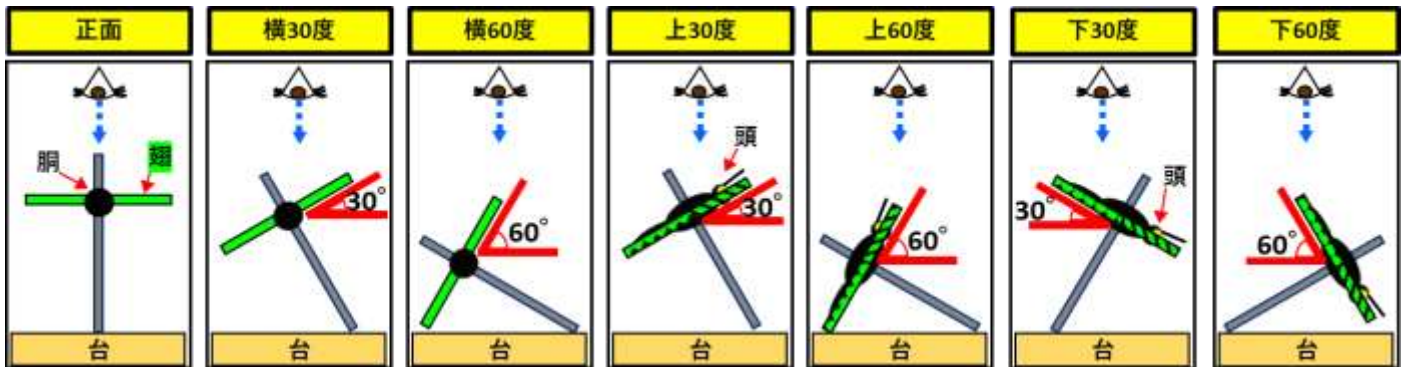


図1 去年の研究で行ったミドリシジミ類のオスの翅の角度別の観察の模式図。
* 頭を上を60度傾けた時(頭の方向から60度傾けた状態)は右から3番目の図の状態である。去年の研究より。



図2 去年の研究で行ったミドリシジミ類のオスの翅の角度別の観察。
* 左が上60度から、中央が下60度から、右が横60度から見た状態。
去年の研究より。



図3 去年の研究で行ったミドリシジミ類のオスの翅の天気別の観察。
* 左が晴れの日、右が曇りの日に見た状態。
去年の研究より。



図4 ミドリシジミ類のオスが占有行動をする様子。
* 去年の研究より。

○ミドリシジミ類について

本研究で「ミドリシジミ類」として扱うのは、鱗翅目 Lepidoptera アゲハチョウ上科 Papilionoidea シジミチョウ科 Lycaenidae シジミチョウ(ベニシジミ)亜科 Lycaeninae ミドリシジミ族 Theclini に属する蝶類のうち、オスの翅表に緑から青にかけての色味が認められる種である(クロミドリシジミ *Favonius yuasai* などの例外を含む)。日本では、キシマミドリシジミ属 *Thermozephyrus*、メスアカミドリシジミ属 *Chrysozephyrus*、フジミドリシジミ属 *Sibatanozephyrus*、ミドリシジミ属 *Neozephyrus*、オオミドリシジミ属 *Favonius* の5つの属を産し、構成種は原則として雌雄異型である(長谷川, 2020)。日本全域では13種が生息し(日本チョウ類保全協会, 2019)、そのうち福島県においては10種が記録されている(渡辺, 2017)。なお、ウラクロシジミ属 *Iratsume* に属するウラクロシジミ *Iratsume orsedice* は、ミドリシジミ類と近縁関係にあるものの(長谷川, 2020)、翅表の光沢が銀白色であり緑や青の色味は認められないため、本研究ではミドリシジミ類として扱わなかった。

表1 ミドリシジミ類5種の雌雄の翅の特徴と主な同定箇所。

	エゾミドリシジミ	ハヤシミドリシジミ	ジョウザンミドリシジミ	アイノミドリシジミ	メスアカミドリシジミ
オスの翅表	 <ul style="list-style-type: none"> ・青みを帯びた金緑色。 ・後翅に黒縁が太い。 ・前翅の外縁が直線的。 ・尾状突起は太く短い。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・やや青みを帯びた金緑色。 ・後翅の黒縁が太い。 ・前翅の外縁は丸みがある。 ・尾状突起はやや長い。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・青みを帯びた金緑色。 ・後翅の黒縁が太い。 ・前翅の外縁はやや直線的。 ・尾状突起はやや長い。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・黄色味を帯びた金緑色。 ・尾状突起は細く長い。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・黄色味を帯びた金緑色。 ・尾状突起は太く短い。
オスの翅裏	 <ul style="list-style-type: none"> ・前後翅の中室端条は不明瞭。 ・後翅の赤斑は上下で発達し、ほぼ連続。 ・後翅の中央白条は太く、縁取りはやや明瞭。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・前後翅の中室端条は消失。 ・後翅の赤斑の連続性には個体差がある。 ・後翅の中央白条は太く、縁取りは不明瞭。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・前後翅の中室端条はやや不明瞭。 ・後翅の赤斑をアーチ状に欠く。 ・後翅の中央白条は細く、縁取りは明瞭。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・全体的に暗褐色。 ・前後翅の中室端条はやや不明瞭。 ・後翅の中央白条は細く、短条の延長線と交差。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・全体的に暗灰色。 ・前後翅の中室端条は明瞭。 ・後翅の中央白条は太く、短条の延長線と交差。
メスの翅表	 <ul style="list-style-type: none"> ・尾状突起は太く短い。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・尾状突起はやや長い。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・尾状突起はやや長い。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・尾状突起は細く長い。 ・前翅の斑紋は多型。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・尾状突起は太く短い。 ・前翅には通常大きな橙斑がある。
メスの翅裏	 <ul style="list-style-type: none"> ・前後翅の中室端条は不明瞭。 ・後翅の赤斑は上下で発達し、ほぼ連続。 ・全体的に灰褐色。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・前後翅の中室端条は消失。 ・後翅の赤斑の連続性には個体差がある。 ・全体的に灰褐色。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・前後翅の中室端条はやや不明瞭。 ・後翅の赤斑をアーチ状に欠く。 ・全体的に赤みのある褐色。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・前後翅の中室端条はやや不明瞭。 ・全体的に赤みがある。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・前後翅の中室端条は明瞭。 ・全体的に灰褐色。

* 同定箇所は、「増補改訂版 フィールドガイド 日本のチョウ」（日本チョウ類保全協会，2019）を参考にした。

去年の研究では、オオミドリシジミ属の3種(エゾミドリシジミ *Favonius jezoensis*, ハヤシミドリシジミ *Favonius ultramarinus*, ジョウザンミドリシジミ *Favonius taxila*)とメスアカミドリシジミ属の1種(アイノミドリシジミ *Chrysozephyrus brilliantinus*)の計4種を研究対象とした。今年の研究では、これら4種に加えて、メスアカミドリシジミ属に属するメスアカミドリシジミ *Chrysozephyrus smaragdinus* も対象とした。

なお、ミドリシジミ類の仲間は互いに形態の似ている種が多く、オスの飛翔中の種レベルまでの識別は困難であるため、本研究では、飛翔中であつたり不鮮明であつたりする生態写真は、属レベルまでの識別を行っ

た。捕獲した個体は、主に「増補改訂版 フィールドガイド 日本のチョウ」（日本チョウ類保全協会，2019）を参考に同定を行った（表1）。

○ミドリシジミ類の色覚について

昆虫の体色の由来として、体表に分布する物質による「色素色」と、体表に当たる光の干渉・回折・散乱などによる「構造色」の2つの仕組みがあげられ、そのうち構造色は体表のクチクラや鱗粉の微細構造による（後藤・上遠野，2019）。蝶類においては、構造色を呈する鱗粉の表面の細かい筋の上に、さらに細かい棚のような構造があることによって、多層膜干渉と回折格子の中間の性質を示し、輝く着色を出している（中瀬，2017）。田中ら（2010）では、ハヤシミドリシジミとメスアカミドリシジミの2種のミドリシジミ類のオスに見られる構造色が、翅の上層鱗によって形成されることが示されている。

一方で、色をどのように見ているのか、すなわち「色覚」については、江口・木下（1999）では、「色の違いを、明るさではなく、波長の違いとして識別できる能力」であり、その波長をどのような色と認識するかは問題ではないとされている。光は波長によって異なる色感覚を与え、一般的に人間では紫（380-430 nm）、青（430-490 nm）、緑（490-550 nm）、黄（550-590 nm）、橙（590-640 nm）、赤（640-770 nm）として認識されると定義される。

一般に、動物は種類によって可視波長の範囲が異なり、色受容細胞の種類の数も違う。人間の可視光の下限は360~400nmで、上限は760~830nmである（國友ほか，2017）。一方で、昆虫の可視波長の範囲はおおむね300~600nmであり、人間と比べると約100nmほど短波長側に移動しており、人間には見えない紫外線（400nmより波長が短い光）が見える代わりに赤が見えないと言える（江口・木下，1999）。蝶類では、例えばアゲハチョウが紫外・紫・青・緑・赤の5つの色受容細胞を持つことが報告されている（Arikawaら，1987）。蝶類全体で考えると、その色覚は、例えばシロチョウ科3種の分光感度が紫外と紫の辺りで最大になる一方で、セセリチョウ2種が緑色域にピークを持ち、翅が赤いベニシジミも翅の青いルリシジミ・ヤマトシジミもともに紫外と紫の付近から紫外域にピークを持つように、グループの影響が強く、色覚が翅の色と必ずしも関係しているわけではないということが示唆されている（今福，2023）。つまり、対象とする種がどのような色を感じているかということ踏まえて研究する必要があると考えた。

Imafuku（2013）は、ミドリシジミ類を含む日本産のミドリシジミ亜科13種の分光感度を電気生理学的手法によって測定している。このうち、ミドリシジミ類の間はキシマミドリシジミ、ヒロオビミドリシジミ、ハヤシミドリシジミ、ウラジロミドリシジミの4種が含まれており、各種について、雌雄約12頭ずつの個体が測定された。その結果、図5のように、青色に分光感度のピークがあることが示されている。この4種の分光感度の傾向が、可視光線の短波長の付近にピークがあるというシジミチョウ一般の分光感度のパターンと一致しているという点で、ミドリシジミ類全般の分光感度についてもこの傾向が当てはまりそうである。

この研究では、これらのミドリシジミ類の分光反射についても測定されており、図6のように、紫外から紫にかけての範囲と、緑から黄にかけての範囲にそれぞれピークがあることが示されているため、これらの種では翅の色と色覚との間に強い相関は認められない。ミドリシジミ類の間では、これら4種以外の種についても同様の分光反射の傾向があることが示されており（今福，2023）、やはりミドリシジミ類全体として翅の色と色覚との間に強い相関は認められないと考えられる。

○可視領域における研究の可能性

ただし、図5のように、ミドリシジミ類の分光感度は紫外および可視領域にも広く認められる。そのため、人間の可視領域において色味を分析することも、日照や種の違いといった観察条件ごとに比較するにあたっては有効であると考えられる。また、今福（2023）が指摘するように、従来行われている電気生理学的手法はあくまで昆虫の色覚を感覚器のレベルで捉えており、脳内の情報を正確に表しているとは限らない。翅の色味を分析すると同時に、ミドリシジミ類の実際の行動を観察することで、翅の色味や輝きが果たす役割を検証できると考えられる。

○今年研究したいと思ったこと

今年の研究では、ミドリシジミ類のオスが行う占有行動や卍巴飛翔といった活動において、オスの翅の特殊

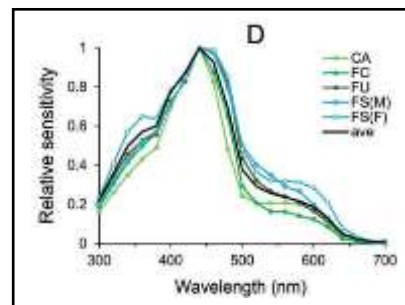


図5 ミドリシジミ類4種の分光感度曲線。
* Imafuku (2013) より引用、一部改変。

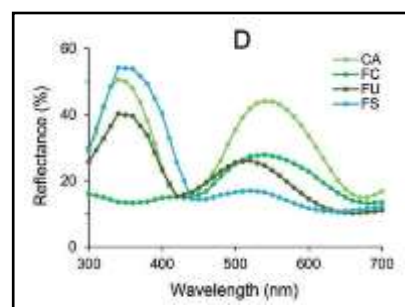


図6 ミドリシジミ類4種の分光反射。
* Imafuku (2013) より引用、一部改変。

な色味や輝きが有効に役立てられているのかを検証しようと考えた。去年の研究はあくまで自分の考えだけで終わっており、定量的な分析・具体的な検証に欠けていたため、自分ができる範囲で検証し、実際に去年考えたことが成り立つのかを確かめてみることにした。

検証するためには、ミドリシジミ類に属する種の間で比較を行い、ミドリシジミ類全般の傾向を見出し、必要に応じて形態の全く異なる蝶との間でも比較を行おうと考えた。また、去年の研究では、曇りの日と晴れの日で翅の観察をしたところ、翅の色の見え方が異なっていることに気が付いた。曇りの日と晴れの日でそれぞれ翅がどのような色に見えるのか、行動に違いがみられるのかについても気になった。

以上のことから、検証するにあたり、曇りの日と晴れの日と比較と、ミドリシジミ類の種や属の間での比較が必要であると考えた。それぞれの比較項目について、翅の色味の分析と行動の野外観察とで得られた結果を比較する。また、必要に応じてミドリシジミ類とは全く異なるグループの蝶類との比較も行い、ミドリシジミ類の特性を検証したいと考えた。

研究の流れ

本研究は、以下の研究(1)から(3)までの3つの段階から成る。

- (1) ミドリシジミ類のオスの行動を観察し、同定・記録をする
- (2) ミドリシジミ類の中での行動、翅の色味や輝きの共通点・相違点を調べる
- (3) 構造色によらない翅そのものによる日光の反射を検証する

研究(1): ミドリシジミ類のオスの行動を観察し、同定・記録をする

〈概要〉

本研究では、ミドリシジミ類の生息地において、オスの行動を計3日間にわたって野外観察した。得られた結果を基に、晴れの日と曇りの日との間で行動を比較した。また、調査中は一部の個体を捕獲し、同定を行い、種の構成比についても調べた。

〈方法〉

現地調査は、福島県耶麻郡猪苗代町磐根の落葉広葉樹林帯で行った。当地は磐梯山の南麓に位置し、ミズナラやカシワの群落が発達している。標高約735mの森林を通る林道において、ミドリシジミ類5種(エゾミドリシジミ、ハヤシミドリシジミ、メスアカミドリシジミ、アイノミドリシジミ、ジョウザンミドリシジミ)のオスを観察した。

調査は、2023年6月24日、7月1日、7月2日の3日間で行った。午前と午後に分けて、調査した日の天気、日差しの強さ、気温を記録し、ミドリシジミ類のオスがどのような行動をしているのかを詳細に観察した。6月24日は午前(8:25~9:50)と午後(13:00~14:00)、7月1日も午前(7:30~10:30)と午後(12:45~15:30)、7月2日は午前(6:30~10:00)のみに調査を行った。約200mの区間の林道に沿った範囲を、2人または5人で歩いて調査した。観察ポイントは、便宜上ポイントAからEまでを設定した。行動の観察は、目視や写真の撮影によって行った。また、飛翔中の同定は困難であるため、可能な限り多くの個体を捕獲し、同定を行い、記録した。こうして、どの種のミドリシジミ類を、午前と午後のどちらでどれくらいの個体数を記録したのかについて分類し、各種の個体数の組成比を考えた。

ポイントAは、林道脇の樹木が倒れて作り出されたギャップであり、日光が十分に差し込み、曇りの日でも比較的明るく保たれていた。林床には笹藪やクズの草地が発達し、中央にサクラの一種が生えていた。周囲はミズナラ、カシワ、クリなどの群落となっていた。ポイントBは、林道の上で樹冠が途切れて陽が差し込むよ



図7 ポイントAにおける調査。6月24日の午後。



図8 ポイントAにおける調査。7月1日の午前。



図9 使用した照度計。

うになっている空間であり、周囲は主にカシワやミズナラの大木に覆われていた。ポイントCは、林道のカーブであり、カーブの外側の森林が開けており、やや明るい環境であった。カーブの内側には笹藪が発達し、林道には所々にミズナラなどの樹木の枝が飛び出していた。ポイントDは、林道の片側が急斜面になっており、道路と森林に挟まれた空間があり、その下には笹藪が発達していた。ポイントEは、両脇を高い木々に覆われた林道であり、比較的暗い環境であった。

〈結果〉

6月24日

午前中は雨上がりで曇っていて、日光は差し込んでいなかった。ミドリシジミ類4頭ほどが木の高所で飛んでいたが、捕獲はできなかった。

午後はポイントEで一頭のみドリシジミ類が葉の上で占有行動をしている様子を目撃した。一方で、ポイントAのギャップの空間では、ミドリシジミ類が3頭から5頭程度で群飛していた。中には2頭で卍巴飛翔をしている様子を観察した。一部を捕獲したところ、アイノミドリシジミ以外の4種が数頭ずつ含まれていた。

7月1日

午前中(図10-38)は、小雨が降り、霧が濃くかかっていた。現地に着くと、ミドリシジミ類がすでに活発に活動していた。ポイントAのギャップでは木の高所の葉や枝の先端に止まり翅を開き、占有行動をしている個体もいた。しかし、他のオスが接近してくると、葉や枝から飛び立ち、2頭や3頭で追いかけあって、卍巴飛翔をしている様子を観察した。高いところで卍巴飛翔を始めたものは、途中で卍巴飛翔の形が崩れたり、卍巴飛翔になったまま下まで降りてきたりしている様子を確認した。卍巴飛翔には2つのタイプがあり、高速で回ってすぐに分解する場合と、ゆっくり回って下まで降りてくる場合があった。卍巴飛翔が崩れた後のミドリシジミ類は、葉や枝の先端に再び止まったことを確認した。ポイントCでは、ミドリシジミ類のオスが林道沿いの木の枝先に止まって占有行動をし、時折2個体が群れて卍巴飛翔をしていた。しかし、ポイントAでの活動ほど活発ではなかった。ポイントDでは、林道の脇の笹藪と樹木が成す空間でオスの活発な活動が見られた。しかし、この場所では個体数は多くなく、数分間翅を広げて占有行動をしている個体も見られた。捕獲した個体については、午前9時頃まではオオミドリシジミ属の仲間が大半を占めていたが、時間が経つにつれて、アイノミドリシジミが増えていった(図66)。



図10 卍巴飛翔している2頭のオス。



図11 1頭のオス(右)が接近してきたために葉から飛び立ったオス(左)。



図12 図11の直後、卍巴飛翔している2頭のオス。



図13 卍巴飛翔している2頭のオス。かなり接近している。



図14 卍巴飛翔している2頭のオス。お互いを見ている態勢である



図15 笹の葉の上で占有行動をするオオミドリシジミ属の1種のオス。地面に近い場所であった。

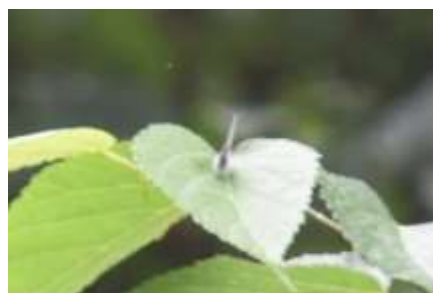


図16 葉の上で一瞬翅を閉じているオス。



図17 足元の笹の葉の上に止まっていたアイノミドリシジミのメス。



図 18 笹の葉の上で占有行動をするオオミドリシジミ属の1種のオス。



図 19 サクラの葉に止まって占有行動をするオオミドリシジミ属の1種のオス。



図 20 図 27 のオスが一時的に翅を半開にした様子。



図 21 高木の葉に止まって占有行動をするオス。



図 22 高木の葉に止まって下方を見下ろしているオス。

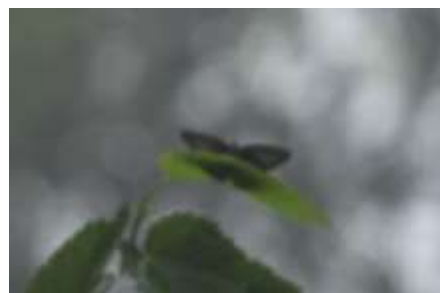


図 23 高所の葉に止まって占有行動をするオス。



図 24 葉に止まって翅を広げ始めるオス。



図 25 図 24 のオスが翅を全開にして占有行動をする様子。



図 26 葉の先端で占有行動をするオス。



図 27 葉に止まって占有行動をするオス。



図 28 葉に止まって占有行動をするオオミドリシジミ属の1種のオス。



図 29 翅を全開にして占有行動をするオオミドリシジミ属の1種のオス。



図 30 占有行動をするオス。



図 31 葉に止まって占有行動をするオス。



図 32 葉に止まって占有行動をするオス。



図 33 翅を全開にして占有行動をするオオミドリシジミ属の1種のオス。



図 34 占有行動をするオオミドリシジミ属の1種のオス。翅が暗く見える。



図 35 占有行動をするオス。



図 36 占有行動をするオス。



図 37 占有行動をするメスアカミドリシジミ属の1種のオス。



図 38 卍巴飛翔している2頭のオス。遠くからでも翅表の輝きを確認できる。

午後(図 39-50)は、最初は晴れていたが、次第に曇っていき、調査を終了する時には雨が降り出してきた。午前中と比べると全体的な個体数は多くなく、最も個体数が多い時間帯でも15頭ほどであった。ポイントA,Bの付近では、5,6頭の個体が群飛しており、互いに追跡するといった飛翔が見られた。また、2,3頭が群れて卍巴飛翔をする様子も時折観察された。ポイントDでは、低い場所で活動する個体は見られず、木々の高所で占有行動をする様子が多く見られた。捕獲した個体については、オオミドリシジミ属の仲間が多く、特にエゾミドリシジミが多かった(図 67)。一方でメスアカミドリシジミ属の仲間は少なく、時折記録する程度であった。



図 39 卍巴飛翔しているオス。



図 40 占有行動をするオス。



図 41 卍巴飛翔しているオス。頭を突き合わせている。



図 42 卍巴飛翔しているオス。



図 43 占有行動をするオス。



図 44 占有行動をして下方を見下ろしているオス。



図 45 3頭のオスが卍巴飛翔をしている様子。



図 46 占有行動をするオス。



図 47 占有行動をするオス。



図 48 占有行動をするオス。



図 49 翅を閉じて葉に止まっているオス。



図 50 図 49 のオスが翅を開いて占有行動を始めた様子。

7月2日 (図 51-65)

7時30分頃から晴れ間が出始め、その後は日光が十分に差し込むようになった。林道沿いのギャップでは、午前9時までは活発な活動は見られず、時折ミドリシジミ類のオスが単独あるいは2、3頭で飛翔して葉に止まるような様子が観察された。午前9時を過ぎると、ミドリシジミ類のオスの個体数が急激に増加し、常に3、4頭が活発に飛び交うようになった。時折葉に止まって占有行動をしようとする個体があったものの、すぐに他の個体が接近してくるため、間を置かず飛び立ってしまった。卍巴飛翔もよく見られたが、大半が高速で旋回するもので、たいていは30秒ほどで分離していた。一方で、中には数分間継続している場合もあった。また、ギャップ付近の日光が直接差し込まない薄暗い林道であっても、時折アイノミドリシジミがゆっくりと卍巴飛翔をしている様子も観察した。葉に止まって占有行動をする時は、翅を全開にすることはほとんどなく、少しだけ開くか、半開にする程度であった。図 51-54、55-56、63-65 のように、体の向きを変えたり翅の開き具合を調節したりする様子も見られた。これは体温調節を図るものである。このような様子を観察している最中であっても、図 57 のように、他のオスが接近するとすぐに飛び立って、追跡をしていたため、占有行動と体温調節は同時に行っていると思われた。全体として、活動のピークは9時過ぎ頃であり、その後はまた数頭のオスが飛翔したり占有行動したりするだけであった。捕獲した個体については、アイノミドリシジミが大半で、他にオオミドリシジミ属の仲間が若干含まれていた(図 68)。



図 51 翅を半開にして占有行動をするオス。



図 52 図 51 のオスが体温調節のために向きを変えた様子。



図 53 図 51 のオスが体温調節のために翅を閉じた様子。



図 54 図 51 のオスが飛び立った様子。



図 55 翅を半開にして占有行動をするオス。



図 56 図 55 のオスが体温調節のために向きを変えた様子。



図 57 笹の葉から飛び立ったオス。



図 58 笹の葉に止まり翅を半開にするアイノミドリシジミ。



図 59 2頭のオスが卍巴飛翔をしている様子。



図 60 図 59 の続き。



図 61 翅を半開にして占有行動をするオス。



図 62 日光浴をしているアイノミドリシジミのメス。



図 63 翅を少しだけ開いているアイノミドリシジミのオス。



図 64 図 63 のオスが体温調節のために向きを変えた様子。



図 65 図 63 のオスが体温調節のために翅をほとんど閉じた様子。

全体のまとめ

曇りの日と晴れの日どちらにも共通していることとして、葉や木の枝の先端に止まって占有行動や卍巴飛翔を行っていたことを確認できた。翅を開いて占有行動をしている際、ミドリシジミ類のオスは特定の方向を向いているわけではなく、空間的に開けている方向を向いている様子を観察した。また、卍巴飛翔している2頭のオスをまとめて捕獲する機会が5、6回あったが、いずれの場合も同じ種の個体であった。空中で卍巴飛翔している個体を見ても、別種同士が卍巴飛翔を構成している様子は見られなかった。卍巴飛翔している間は、常にお互いを見ることのできる態勢であり、他のオスを追跡する時は相手を真後ろから見ている態勢であった。

各調査において、ミドリシジミ類のオスが一斉に群飛し始めて活動が活発になるピークの時間帯があり、数10分から2時間程度続いた。このように活動が活発な時間帯では、ポイントAのギャップにおいては、5分おきほどで、特に活発な時間と、それほど活発ではない時間が交互に繰り返されていた。特に活発な時間には、占有行動をして翅を広げている個体がすぐに飛び立つことが多かった一方で、それほど活発でない時間には、数分間同じ葉に止まったままの個体も観察された。また、ギャップ以外のポイントでは、5分おきほどで特に活発な時間とそれほど活発ではない時間が交互に繰り返されているわけではなく、常に一定の個体数が占有行動を行っていた。

表2 野外観察での天気、各測定値、各種の採集個体数。

	6/24 午前	6/24 午後	7/1 午前	7/1 午後	7/2 午前	合計
天気	曇り	晴れ	雨のち曇り	晴れのち曇り	晴れ	
日差しの強さ[ルクス]	1290~1300	1600~1900	976~1002	3094~494	1938~101000	
気温[°C]	24~26	24~26	21	23	18~21	
エゾミドリシジミ	0	2	1	26	1	30
ハヤシミドリシジミ	0	1	13	10	5	29
メスアカミドリシジミ	0	3	1	9	0	13
アイノミドリシジミ	0	0	20	1	38	59
ジョウザンミドリシジミ	0	2	12	4	5	23
合計	0	8	47	50	49	154

個体数の組成比

記録した個体は、7月1日は午前と午後の個体数を種ごとに合わせると、オオミドリシジミ属の仲間が多かった(図66, 67)。一方で、7月2日はメスアカミドリシジミ属の仲間が多く、特にアイノミドリシジミが大半を占めていた(図68)。

3日間の調査を通して、最も多く記録した種はアイノミドリシジミであり、59頭であった。次いでエゾミド

リシジミの30頭と、ハヤシミドリシジミの29頭が多かった。最も少なかったのはメスアカミドリシジミで、7月1日の午後には9頭を記録できたものの、調査全体としては13頭であった(図69)。

7月1日の午前の調査と午後の調査、7月2日の午前の調査では、約50頭ずつを記録した。実際にその場において目視で観察した全てのミドリシジミ類の個体数は、捕獲して記録した個体数よりはるかに多いものの、各調査で同じくらいであったと思われた。

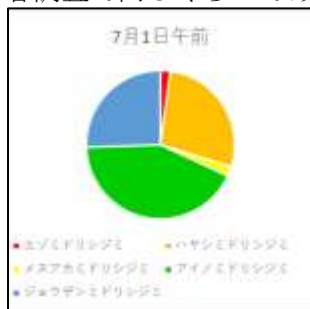


図66 7月1日午前の個体数の組成。

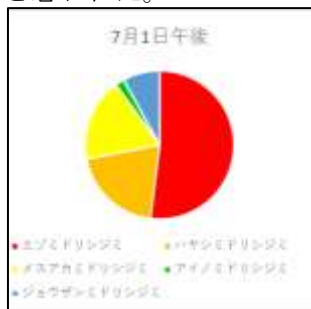


図67 7月1日午後の個体数の組成。



図68 7月2日午前の個体数の組成。



図69 3日間の調査全体での個体数の組成。

〈考察〉

一般に、ミドリシジミ類のオスの活動時間帯は種によってある程度決まっており、観察時の天候や気温、地形や樹木の高さなどの条件にも影響を受ける(日本チョウ類保全協会, 2019)。今回の調査では、エゾミドリシジミのように曇りの日の方が個体数の多い種もいれば、アイノミドリシジミのように晴れの日の方が個体数の多い種もいた。本研究の調査は、ほぼ同じような時期・気温の条件において、午前と午後のそれぞれについてほぼ同じ時間帯において調査を行ったため、ミドリシジミ類のオスには、種によって好みの天候(日差しの強さ)があると考えられる。そのため、好みの天候の下で有利に活動する必要があるため、それぞれの種のオスの翅は、天気によって輝きやすさが異なる可能性がある。

今回の調査では、ミドリシジミ類のオスの活発な占有行動が観察された。この占有行動は、オスが時折周囲を巡回しながら一定の場所でメスの飛来を待つ「待ち伏せ型」の探雌行動であり、一般に森林性の蝶類に多く見られる(日本チョウ類保全協会, 2019)。観察している間、木々の高所から地面の近くに降りてきた卍巴飛翔をしている2個体を横から見た場合、翅に輝きが見られた。葉や枝先に止まって翅を広げている時も、翅の輝きをはっきりと認識できた。このように、ミドリシジミ類のオスの翅は自然状態において極めて目立つものであった。さらに、ミドリシジミ類のオスの飛翔は非常に敏速であり、他のオスを追跡している時も、卍巴飛翔している時も、葉の上で翅を広げて占有行動している時も、常に他のオスのいる方向を見ている態勢であった。これらのことから、ミドリシジミ類のオスは、占有行動をしている間にお互いの存在を効率的に認識するために、翅の輝き(光沢)を利用している可能性が非常に高いと言える。

加えて、去年の研究より、ミドリシジミ類のオスの翅は、頭側から見るほど輝きが強く見えることが明らかになっている。また、今回の調査において、翅を開いて占有行動をしている際、ミドリシジミ類のオスは特定の方向を向いているわけではなく、空間的に開けている方向を向いている様子が観察された。したがって、ミドリシジミ類のオスは、縄張りを張った際に自らの存在を他のオスに知らしめるために、前から見るほど輝きが強くなるという翅の特徴を活用している可能性が高い。

研究(2): ミドリシジミ類の中での行動、翅の色味や輝きの共通点・相違点を調べる

〈概要〉

研究(1)で得られたミドリシジミ類の行動に関する知見と、研究(2)で新たに調べた翅の色味や輝きに関する特徴を基に、曇りの日と晴れの日との間において、行動、翅の色味や輝きの共通点・相違点を検証した。さらに、ミドリシジミ類5種をオオミドリシジミ属の仲間(エゾミドリシジミ、ハヤシミドリシジミ、ジョウザンミドリシジミ)とメスアカミドリシジミ属の仲間(アイノミドリシジミ、メスアカミドリシジミ)に分け、この2属の間で比較したときの行動、翅の色味や輝きの共通点・相違点についても考察した。

〈方法〉

○行動の比較

研究(1)の調査結果を、オオミドリシジミ属の仲間(エゾミドリシジミ、ハヤシミドリシジミ、ジョウザンミドリシジミ)とメスアカミドリシジミ属の仲間(アイノミドリシジミ、メスアカミドリシジミ)に分類した。目視や撮影した写真によって種を同定することは困難であったため、行動の比較はこれらの2属の間で行う。

○翅の色味や輝きの比較

屋外において、ミドリシジミ類5種の標本を、各種5頭ずつ用意し、同一平面上に並べ、頭を上にして60度傾けた状態で撮影した(図70-72)。この状態で撮影した理由は、去年の研究で、頭を上にして60度傾けた時(頭の方から60度傾けた状態)に最も色が濃く見え、翅の色味を詳細に分析するのに適しているからである。さらに、研究(1)で示されたように、ミドリシジミ類のオスが翅を広げて占有行動をする際に、他のオスはこの角度から占有行動をするオスを見るため、ミドリシジミ類のオスに翅がどう見えているのかを検討するのも都合がいいからである。撮影は2023年8月7日に全てを行った。撮影した写真の色を、デジタルデータのまま「色調べ」というアプリケーションを使って分析し、RGB値を測定した。これを左翅の上翅4か所と下翅3か所において行った(図73のように①から⑦までの位置を設定した)。得られたRGB値を基に、「色判定」というアプリケーションによってその色を再現し、出力した色を模式図にプロットした。この処理を、各種について曇りの条件と晴れの条件それぞれで行い、色の模式図を作成した。

ここで、RGBとは、加法混色と呼ばれる色の表現方法で、色が赤(Red)・緑(Green)・青(Blue)の3要素から構成されるとするものである。これらの3要素は「色の3原色」とも呼ばれ、混ぜれば混ぜるほど白に近づき、明るくなっていく。色の表現方法として、減法混色と呼ばれるCMYKという表現方法もあるが、RGBがパソコンのモニターやスマートフォンのディスプレイなどに使用されるのに対し、CMYKは印刷物に使用されることが主である。よって、本研究ではRGBを分析した。本研究で測定したRGB値とは、色の3要素のそれぞれの強弱を数値化したものである。各要素は0から255までの256段階で表記され、値が大きいほどその要素が強いということを表している。例えば、赤色の原色であれば、「R=255, G=0, B=0」と表される。また、純白であれば、加法混色であることより、R, G, B全ての値が255となる。

本研究でRGBに着目した理由は、次の2つである。第一に、去年の研究では翅の色味を主観的に分析するだけであったが、RGB値を測定することで、色味を定量的に分析・再現することが可能であるからである。第二に、色味を赤・緑・青の3要素に分けるということは、人間の視覚にも合致するからである。なぜなら、3原色説で言われるように、人間の色覚は、網膜の光受容細胞(視細胞)のレベルでは、青・緑・赤にそれぞれの感度のピークを持つからである(江口・木下, 1999)。さらに、冒頭の「研究背景・目的」でも述べたように、ミドリシジミ類の色覚は青色付近にピークがあることが明らかにされている。つまり、RGB値のうちB(青)の値にのみ着目すれば、ミドリシジミ類にとって見えやすいのか見えにくいかの判断ができると考えられる。このように、翅の色味をRGB値によって表現する利点はいくつかある。

翅の分析の対象となった個体は、ミドリシジミ類5種の各種5個体ずつであるため、計25個体あった。曇りの日と晴れの日のそれぞれにおいて、各個体について翅の7か所の位置でRGB値を測定したため、測定箇所は総計350か所であった。各種について、曇りの日と晴れの日のそれぞれにおいて、5個体のRGB値の平均値(以下、「平均RGB値」と言う)を①から⑦までそれぞれ算出した。この平均RGB値を利用して、翅の色味を分析した。また平均RGB値を基に出力した色は、合計70色である。

色を出力した時、スマートフォンの画面をスクリーンショットし、その画像をトリミングしてプロットした。このように、撮影した画像を処理する全ての過程において、デジタルデータのみを扱い、処理の過程で色味が変化しないように細心の注意を払った。なお、翅の輝きの強弱を把握するにあたっては、翅の全体を連続的に捉える必要があるため、撮影した写真をそのまま観察することとした。



図70 標本を60度傾けて撮影している様子。



図71 標本の撮影の概念図。



図72 撮影した標本の写真。このような写真を個々の個体ごとに分割(トリミング)して、RGB値を測定した。これは曇りの条件でのエゾミドリシジミ。

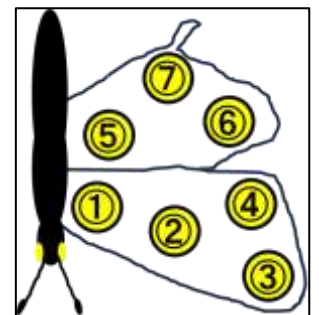


図73 翅の上に設定した7つの測定位置。

(結果)

○行動の比較

[曇りの日と晴れの日との間での比較]

【共通点】

- ・ 天気に関わらず、卍巴飛翔などの活発な占有行動は決まった時間に行っていた。
- ・ 天気に関わらず、占有行動をして翅を広げている時に頭を向けている向きは、空間的に開けた方向で一律であった。
- ・ 曇りの日でも晴れの日でも、5分おきぐらいに、活動の特に活発な時間とそれほど活発ではない時間が交互に繰り返されていた。
- ・ 活動しているミドリシジミ類全体の個体数に、天気によって大きな違いは見られなかった。

【相違点】

- ・ 晴れの日の方がややゆったりと飛んでいた。一方で、曇りの日は高速で飛翔していた。ただし、追跡するなどして5, 6頭が群飛している際は、曇りの日でも晴れの日でも、高速で飛翔していた。
- ・ 多く活動している種が天気によって異なっていた。
- ・ 曇りの日の方が低い場所で占有行動をしていた。
- ・ 曇りの日では、葉や枝に止まると、すぐに翅を全開にしていた(図74)。この場合、前翅も後翅も全体が見える姿勢であった。一方で、晴れの日では、翅を半開にしたりほぼ閉じたりした姿勢で葉や枝に止まっていることが多かった(図75)。翅を全開にする様子も時折見られたものの、曇りの日に比べると翅を全開にしている時間は短かった。晴れの日には体の向きを変えて体温調節もしていた。



図74 曇りの日に翅を広げて占有行動をしている様子。翅を全開にしている。(7月1日午前)



図75 晴れの日には翅を広げて占有行動をしている様子。翅をやや開いている。(7月2日午前)

[オオミドリシジミ属とメスアカミドリシジミ属との間での比較]

【共通点】

- ・ 日光が直接当たるような所で卍巴飛翔をしていた。また、葉や枝の先に止まって占有行動を行っていた。そして、卍巴飛翔を下から見ると翅に輝きは見られなかったが、下に降りてきた卍巴飛翔を横から見たら翅に輝きが見られた。それぞれに活動のピークの時間帯があった。

【相違点】

- ・ 活動する時間帯がやや違った。これは属ごとではなく、種によつての違いがあった。

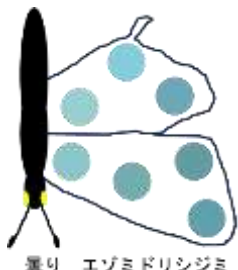
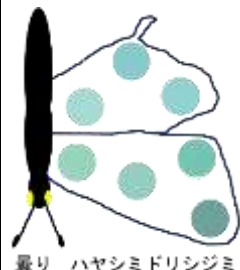
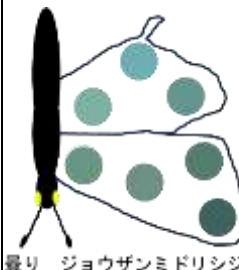
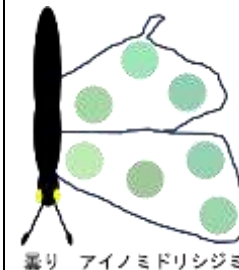
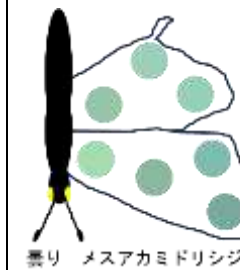
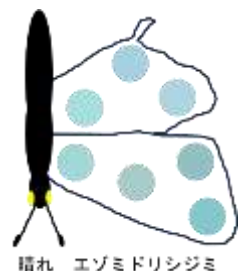
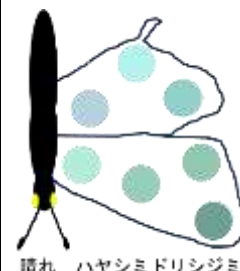
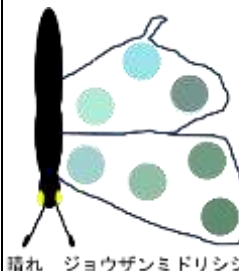
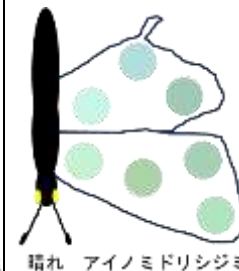
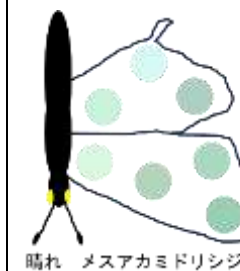
○翅の色味と輝きの比較

翅の屋外撮影時の日差しの強さは、曇りの時で1100~1600ルクス、晴れの時で10200~11000ルクスとなった。算出した平均RGB値を基に出力した色をプロットした模式図は、以下のようになった(表3)。

また、平均RGB値を基にして作成したグラフが図76, 77である。図76は、ミドリシジミ類が最もよく感受している青(RGB値のうち、B)の要素のみに着目し、曇りの条件と晴れの条件のそれぞれについて、翅上の位置ごとのBの値をまとめたものである。一方、図77は、曇りの条件と晴れの条件のそれぞれについて、各種の①から⑦までの値の平均値を算出し、R・G・Bそれぞれについて表示したグラフである。図77では、翅全体の色味のRGBを種ごとに比較することも可能である。

また、図76では、曇りの条件と晴れの条件とで別々にグラフを作成したが、曇りの条件と晴れの条件との間で比較するには、値にどれくらい差があるのかを考える必要があった。そこで、曇りの条件と晴れの条件との間の値の差分を示した図78を作成した。図78を作成した際には、まず曇りの条件と晴れの条件のそれぞれにおいて、位置ごとに5種の値の平均値を求め、次いでそれぞれの位置について、晴れの条件での値から曇りの条件での値を引き、差分を求めた。

表3 平均RGB値によって再現した色の模式図。

	エゾミドリシジミ	ハヤシミドリシジミ	ジョウザンミドリシジミ	アイノミドリシジミ	メスアカミドリシジミ
曇り	 曇り エゾミドリシジミ	 曇り ハヤシミドリシジミ	 曇り ジョウザンミドリシジミ	 曇り アイノミドリシジミ	 曇り メスアカミドリシジミ
晴れ	 晴れ エゾミドリシジミ	 晴れ ハヤシミドリシジミ	 晴れ ジョウザンミドリシジミ	 晴れ アイノミドリシジミ	 晴れ メスアカミドリシジミ

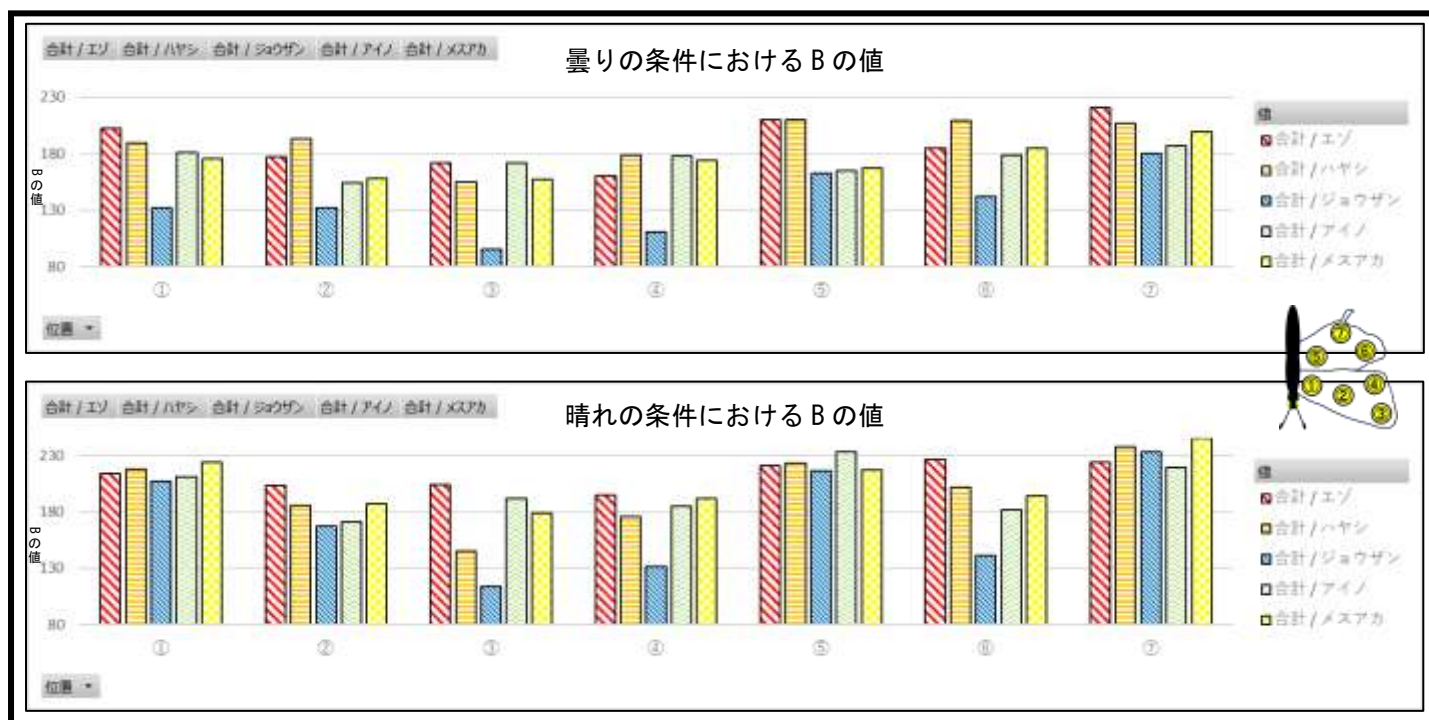


図76 曇りの条件と晴れの条件における、位置ごとに表示したBの値。

[曇りの日と晴れの日との間での比較]

【共通点】

- 曇りの日でも晴れの日でも、それぞれの種に特有の緑みや青みを強く確認できた。
- 曇りの日でも晴れの日でも、ジョウザンミドリシジミの青み(RGB値のうち、Bの値の強弱)は、他の種に比べて弱かった。逆に、エゾミドリシジミとハヤシミドリシジミは、他の種に比べて青みが強かった(図76)。
- 曇りの日でも晴れの日でも、R・G・Bの全ての値において、ジョウザンミドリシジミが最小の値をとっていた(図77)。

【相違点】

- ミドリシジミ類のオスの翅は、曇りの日の方が色は濃く見えた。晴れの日の中ミドリシジミ類のオスの翅は、

輝きが強く、色味が白に近く見えた。

・R・G・Bいずれの値も、晴れの日の方が全体的に高かった(図 77)。

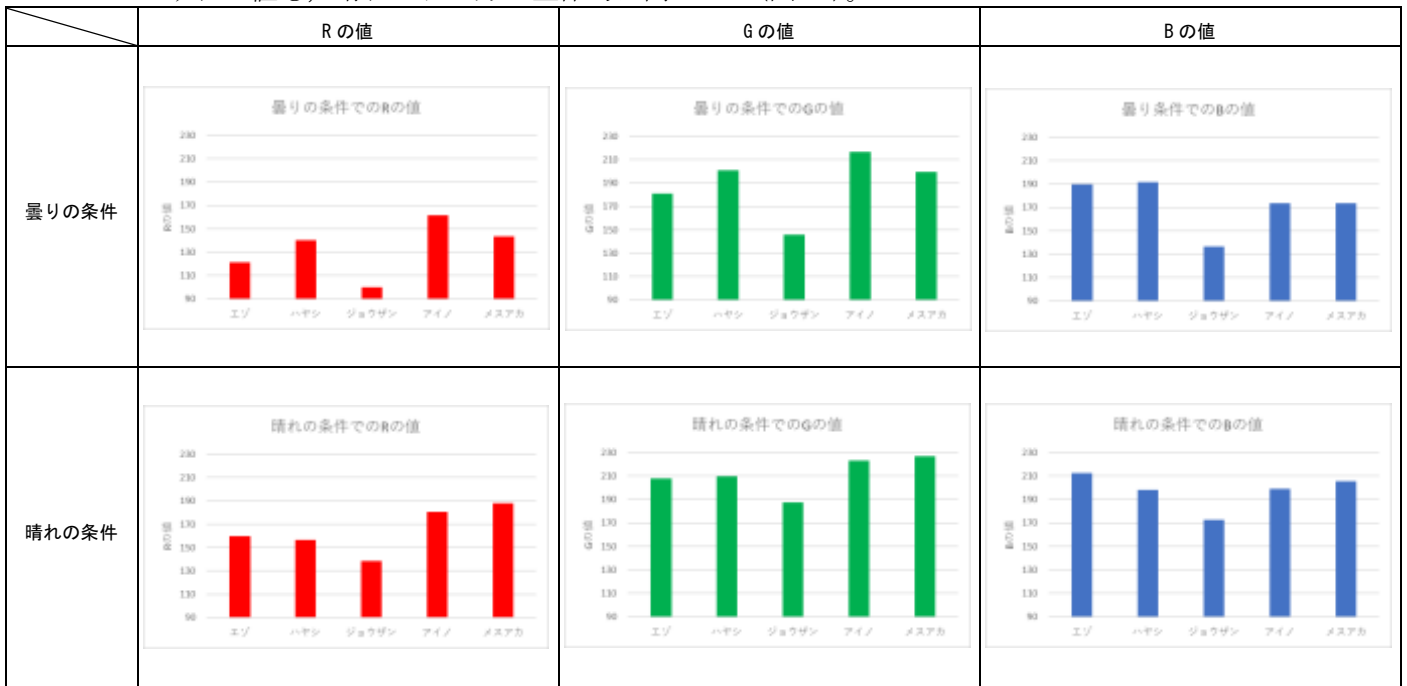


図 77 曇りの条件と晴れの条件における各種の①から⑦までの RGB 値の平均値。

[オオミドリシジミ属とメスアカミドリシジミ属との間での比較]

【共通点】

- ・晴れの日の方が全体的に輝きは強く、白っぽく見えた。曇りの日は暗い様子で緑みや青みが濃かった。
- ・前翅の位置①と後翅の位置⑤、⑦において、曇りの条件と比べた時の、晴れの条件での B の値の増加量が最大であった。一方、後翅の位置⑥において、晴れの条件での増加量が最小であった(図 78)。

【相違点】

- ・メスアカミドリシジミ属の 2 種は緑み(G の値の強弱)が強かった一方、オオミドリシジミ属の 3 種は青みが強かった。
- ・曇りの日でも晴れの日でも、オオミドリシジミ属の 3 種は、B と G の値に大きな差が見られなかった一方で、メスアカミドリシジミ属の 2 種は B より G の値の方が高かった(図 77)。
- ・曇りの日でも晴れの日でも、R(赤)の値はオオミドリシジミ属の 3 種よりメスアカミドリシジミ属の 2 種の方が高かった(図 77)。

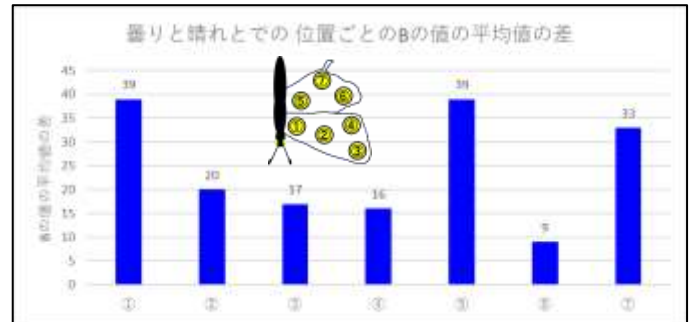


図 78 曇りと晴れとの間の、位置ごとの B の値の平均値の差。

〈考察〉

[曇りの日と晴れの日との間での比較]

曇りの日でも晴れの日でも、各種に固有の青みの強弱などの翅の色味の特徴は変わらなかった。このことが、天候(日光の量)によらずにミドリシジミ類のオスが互いの種を認識することに役立っていると考えられる。研究(1)により、種によって活動する時間帯が少しずつ異なることが明らかであるが、これは活動時間がぶつからずに他の種と争わなくて済むようにするためであると考えられ、「時間的棲み分け」と呼ばれる(日本チョウ類保全協会, 2019)。このように、ミドリシジミ類のオスたちにとって、互いの種を的確に見分けることは、同種のオスのみと縄張り争いを繰り広げ、他の種とはそれを避けるために重要であると考えられる。実際、研究(1)において、卍巴飛翔をしていたのは全ての場合で同種のオスであった。

一方で、晴れの日の方が輝きは強く、曇りの日と比較して、翅の緑や青の色が薄く見えた。ただし、これは

単純に晴れの日の方が日光の量が多く、過剰な光が翅の表面でそのまま反射されているだけである可能性がある。晴れの日と曇りの日での翅の光の反射の度合いの違いについての検証は、研究(3)に継続しようと考えた。

さらに、例えば曇りの日の方が低い場所で活動していたなど、研究(1)で確認した天気による活動場所の違いは、単に小雨を避けるためだけの違いだったと思われる。なぜなら、天気に関わらず、卍巴飛翔などの活発な占有活動を決まった時間に行っていたことや、活動の特に活発な時間とそれほど活発ではない時間が交互に繰り返されていたことや、活動しているミドリシジミ類全体の個体数に大きな違いは見られなかったことなどを確認しており、ミドリシジミ類のオスたちが繰り返す縄張り争いの様式には天気によって差がなかったからである。また、蝶類は一般的に晴れた日の昼間に最も活発に活動し、雨や曇りの日に飛び回することは少なく(養老ほか, 2011)、特に雨の降る時に空中を飛び交うことは稀である。実際、調査中に目撃した各種蝶類は、ほとんど飛ばないか、地面の近くを飛翔しているだけであった。ミドリシジミ類のオスも例外ではなく、曇りの日の方が低い場所で占有行動をしていたという観察結果は、単に雨の当たりにくい場所に活動場所を限定していただけのことであると解釈するのが妥当であると考えた。

また、観察した全てのミドリシジミ類の種について、前翅の基部近くの位置①と後翅の内縁近くの位置⑤、⑦において、曇りの条件と比べた時の、晴れの条件でのB(青)の値の増加量が最大であった。一方、後翅の前縁近くの位置⑥において、晴れの条件でのBの値の増加量が最小であった。ミドリシジミ類は青い色を最もよく見ているため、位置①、⑤、⑦の付近は、曇りの日に比べて、晴れの日の方がよく見えているということになる。逆に、位置⑥の翅は、曇りの日と晴れの日で見え方がほぼ変化しないと言える。図79のように、位置①、⑤、⑦というのは、オスが翅を半開にする時に、胴体の近くであるために反対側の翅に遮られて、外部から見えにくくなる位置である。一方で、位置⑥というのは、翅を半開にする時に、前翅に完全に隠されてしまう位置である。これらのことから、ミドリシジミ類のオスは、晴れの日において、翅を半開にした際に見えにくくなる位置における翅の視認性を曇りの日より強め、一方で翅を半開にした時に完全に見えなくなる位置における翅の視認性を曇りの日と同等にしている。結果として、翅全体では、曇りの条件と晴れの条件との間で、他のオスに対する自身の存在感を同じレベルに揃えている。このような天気による翅の見え方の違いは、晴れの日であっても、他のオスに対して曇りの日と同様のレベルで認識されようとするミドリシジミ類の工夫であると解釈することができる。

なお、曇りの日と晴れの日で翅の広げ方に違いが生じている理由は、日光浴と関係があると考えられる。蝶類は一般に、体温を活動しやすい30~37℃付近まで上昇させるため、太陽の輻射熱を利用し、翅の開き方や日光を受ける翅の面積を変化させて調節する(福田ほか, 1982)。つまり、曇りの日の方が日光は少ないため、なるべく翅の全体に日光を当てて体温を保持するために、翅を全開にして占有行動を行っていると考えられる。逆に、日光の多い晴れの日には、日光の当たる翅の部分を少なくし体温調節を図るために、翅を半開にして占有行動を行っていると考えられる。

[オオミドリシジミ属とメスアカミドリシジミ属との間での比較]

2属とも、同一の場所(空間)で活動しており、各種とも占有行動や卍巴飛翔を活発に行う時間があった。しかし、種によって活発な活動時間がやや異なっていた。これは典型的な「時間的棲み分け」であると考えられる(日本チョウ類保全協会, 2019)。ただし、あくまで個体数の多い種や属が認められるだけであり、少なからず常に複数の種が同じ場所(空間)で活動していた。このように、行動に関する明瞭な相違点は、活動時間以外には見いだせなかった。逆に、他のグループの蝶類と比較すると、ミドリシジミ類のオスは驚くべき程度で時間的・空間的に密集して活動しており、これはミドリシジミ類のオスに特有の翅の特性を活かすためのことであるとも考えられる。

翅の色味の観察において、2属の間では、メスアカミドリシジミ属の2種の翅表は緑みが強い一方、オオミドリシジミ属の3種では青みが強いという明らかな違いがあった。RGB値の分析においても、曇りの日と晴れの日

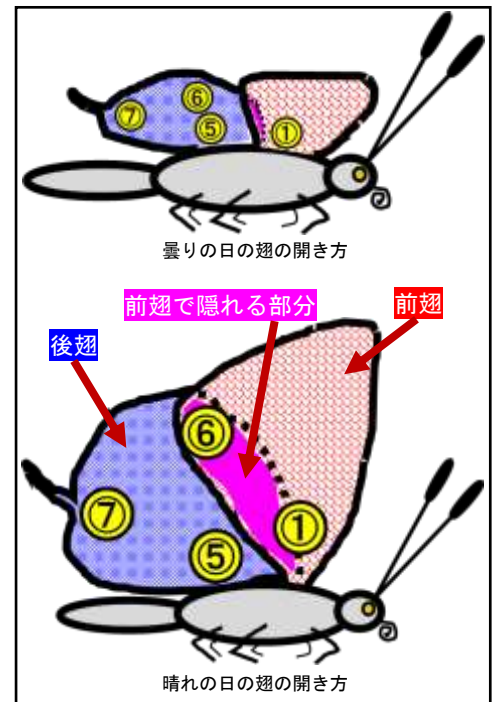


図79 曇りの日、晴れの日の翅の開き方の模式図。
 *晴れの日の図において、⑥は後翅上にあるため、前翅に隠されている。
 *図示したのは左の翅のみである。

のいずれも、オオミドリシジミ属の3種は、BとGの値に大きな差が見られない一方で、メスアカミドリシジミ属の2種はBよりGの値の方が高く、またRの値はオオミドリシジミ属の3種よりメスアカミドリシジミ属の2種の方が高いという結果が得られた。このような翅の色味の差は、占有行動でオス同士が種を見分け、「時間的棲み分け」をより効果的にするために役立っていると考えられる。

研究(3)：構造色によらない翅そのものによる日光の反射を検証する

〈概要〉

研究(2)の翅の観察・分析では、晴れの日の方が輝きは強く、曇りの日と比較して、翅の緑や青の色が薄く見えた。RGB値も晴れの条件で全体的に高まっており、単純に晴れの日の方が日光の量が多く、過剰な光が翅の表面でそのまま反射されているだけである可能性が示唆された。

本研究では、蝶類の翅表における輝き(光沢)・模様の有無によって、ミドリシジミ類以外の蝶類を4つのカテゴリーに分類し、晴れの日と曇りの日で翅の色味と輝きを分析し、晴れの日と曇りの日での翅の光の反射の度合いの違いについて検証した。

〈方法〉

蝶類の翅表における輝き(光沢)・模様の有無によって、ミドリシジミ類以外の蝶類を4つのカテゴリーに分類した。それぞれのカテゴリーには、以下の種を取り上げた(表4)。

- ①翅に輝きがあり模様がない蝶 (アオバセセリ *Choaspes benjaminii*) のオス
- ②翅に輝きがあり模様がある蝶 (オオムラサキ *Sasakia charonda*) のオス
- ③翅に輝きがなく模様がない蝶 (ダイミョウセセリ *Daimio tethys*) のオス
- ④翅に輝きがなく模様がある蝶 (アオスジアゲハ *Graphium sarpedon*, アカボシゴマダラ *Hestina assimilis*) のオス

表4 翅の色味と輝きを分析した4つのカテゴリーの蝶類。

		翅の輝きの有無	
		有	無
翅の模様 の有無	無	①アオバセセリ 	③ダイミョウセセリ 
	有	②オオムラサキ 	④アオスジアゲハ  ④アカボシゴマダラ 

上記の5種は、いずれも明瞭な占有行動を行うものである。種によって、探雌行動が巡回型なのか待ち伏せ型なのかどうか、あるいは山頂占有性(ヒルトッピング)があるのかなのかといった占有行動の様式の違いがあるものの(日本チョウ類保全協会, 2019), 本研究では取り上げなかった。

標本にした蝶を、頭を上にして60度傾けた状態で撮影した。本研究では研究(2)ほどの高い精度を要しないと判断したため、各種1頭ずつ撮影した。撮影は研究(2)と同じ日に行った。撮影した画像は、研究(2)と同様の手法で処理し、出力した色を模式図にプロットした。この処理を各種について晴れの条件と曇りの条件それぞれについて行い、色の模式図を作成した。作成した色の模式図を基に、翅の色味を観察した。また、翅の輝きの強弱を把握するにあたっては、翅の全体を連続的に捉える必要があるため、撮影した写真をそのまま観察することとした。

本研究の場合、翅の分析の対象となった個体は、蝶類5種の各種1個体ずつであるため、計5個体あった。曇りの日と晴れの日それぞれにおいて、各個体について翅の7か所の位置でRGB値を測定したため、測定箇

所は総計 70 か所であった。測定した RGB 値を利用して、翅の色味を分析した。また、RGB 値を基に出力した色も、合計 70 色である。

〈結果〉

屋外撮影時の日差しの強さは、研究(2)と同じく曇りの時で 1100~1600 ルクス、晴れの時で 10200~11000 ルクスとなった。以下に出力した色をプロットした模式図を示す(表 5)。また、図 80 は、曇りの条件と晴れの条件のそれぞれについて、各種の①から⑦までの値の平均値を算出し、R・G・B それぞれについて表示したグラフである。

各グループの観察では、以下のような特徴を見出した。

- ①アオバセセリは、曇りの日と比べ、晴れの日では全体的に光を多く反射しており、白っぽく見えた。曇りの日の方が色は濃く見えた。ただし、晴れの日においては、前翅の主脈上の基部近くや、後翅の基部近くや肛角付近に鈍い金色の光沢が見られた。逆に、曇りの日では、光沢は全く見られなかった。
- ②オオムラサキは、曇りの日と比べ、晴れの日では全体的に光を多く反射しており、白っぽく見えた。曇りの日の方が色は濃く見えた。ただし、後翅の青色部の光沢は、晴れの日でかなり強い輝きが見られた。
- ③ダイミョウセセリは、晴れの日では全体的に光を多く反射しており、白っぽく見え、一方で曇りの日の方が色は濃く見えた。晴れの日では、翅の白い部分での反射が特に強く見られた。
- ④アオスジアゲハは、曇りの日と比べ、晴れの日では全体的に光を多く反射しており、白っぽく見えた。ただし、翅の中央の水色の紋はひととき強く光を反射しているように見えた。アカボシゴマダラも、晴れの日では全体的に光を多く反射しており、白っぽく見え、一方で曇りの日の方が色は濃く見えた。晴れの日では、翅の白い部分での光の反射が特に強く見られた。

表 5 平均 RGB 値によって再現した色の模式図。

	①アオバセセリ	②オオムラサキ	③ダイミョウセセリ	④アオスジアゲハ	⑤アカボシゴマダラ
曇り					
晴れ					

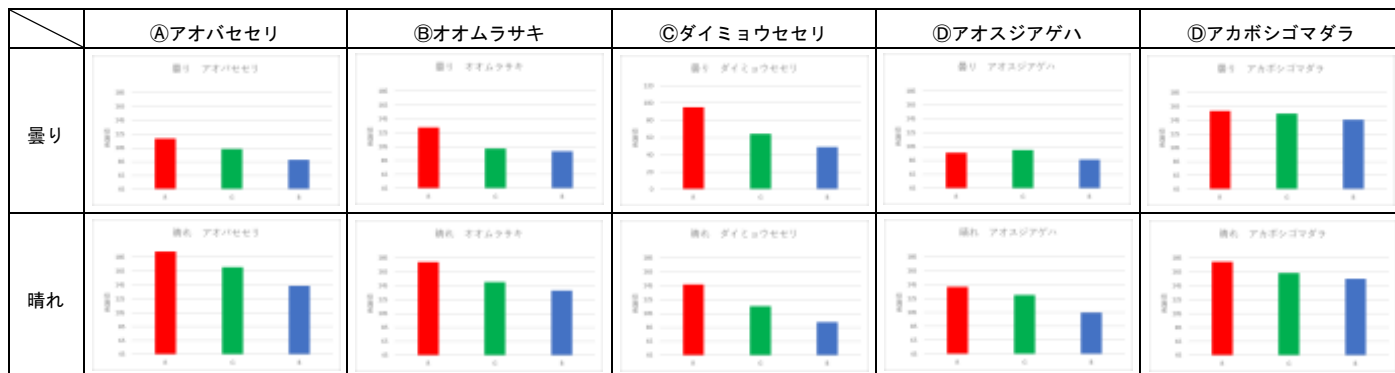


図 80 曇りの条件と晴れの条件における各種の①から⑦までの RGB 値の平均値。

〈考察〉

翅に輝き(光沢)が見られる種では、どの種も晴れの日には輝きが特に強まっており、より多くの光を反射していると考えられる。翅に輝きがない種であっても、晴れの日では全体的に光を多く反射しており、白っぽく見え、一方で曇りの日の方が色は濃く見えた。これは、斑紋の有無に関わらない傾向でもあった。RGB 値によって定量的に分析した結果としては、アオバセセリ、オオムラサキ、アオスジアゲハの3種について、曇りの条件に比べ、晴れの条件ではRGB 値が全体的に高まっており、翅全体で反射している光の量が多い傾向があることが示された。この傾向は、研究(2)でしめしたミドリシジミ類の傾向と一致し、やはり晴れの日の方が日光の量が多く、過剰な光が翅の表面でそのまま反射されていると考えられる。一方で、ダイミョウセセリとアカボシゴマダラでは、曇りの条件と晴れの条件との間のRGB 値の差がほとんど認められなかった。これには、ダイミョウセセリは翅全体が濃い褐色であり常に光を吸収しやすいから、逆にアカボシゴマダラは翅全体に白い部分が多く常に光を反射しやすいからといったように、翅の本来の色味が関係している可能性が高いと思われる。

研究全体のまとめ・結論

研究を通して、ミドリシジミ類のオスの翅の特殊な色味・輝きは、占有行動や卍巴飛翔をしている間に、互いの存在を効率的に認識するために役立っていると考えられる。

去年の研究で、前から見るほど輝きが強くなるという翅の特徴が明らかになっていた。今年の研究によって、縄張りを張った際に自らの存在を他のオスに知らしめるために、前から見るほど輝きが強くなるという翅の特徴を活用している可能性が非常に高いということが示された。

また、去年の研究ではミドリシジミ類4種のオスの翅を詳細に観察したが、種ごとの色味の特徴を解明するには至らなかった。しかし、今年の研究では、翅の色味をRGBによって定量的に分析することにより、肉眼では判別できない色味の特徴を明らかにすることができた。この結果により、種ごとのオスの翅の色味の違いが、オスが互いの種を認識し、同種のオスのみと縄張り争いを繰り広げ、他の種とはそれを避けるために役立っていると考えられる。

さらに、今年の研究では、次の発見があった。ミドリシジミ類のオスは、晴れの日において、翅を半開にした際に見えにくくなる位置における翅の視認性を曇りの日より強め、一方で翅を半開にした時に完全に見えなくなる位置における翅の視認性を曇りの日と同等にしている。結果として、翅全体では、曇りの条件と晴れの条件との間で、他のオスに対する自身の存在感を同じレベルに揃えている。このような天気による翅の見え方の違いは、第一に、晴れの日であっても、他のオスに対して曇りの日と同様のレベルで認識されようとするミドリシジミ類の工夫であると解釈することができる。ミドリシジミ類の発生期間は1年のうち1, 2か月であり(日本チョウ類保全協会, 2019)、オスが活発に活動できるのはそのうち数週間程度の限られた期間である。この短い期間に活発な占有行動を繰り広げ、雌を効率的に探し出す必要がある。さらに、ミドリシジミ類の発生時期は梅雨の時期と重なっているため、曇天や雨天が少なくない。ミドリシジミ類のオスは、天気に関わらずに活発な占有行動を行うために、他のオスに対して曇りの日であっても晴れの日であっても同様のレベルで認識される必要がある。第二に、占有行動、体温調節という2つの生態学的要素を両立させる重要な手段であると解釈することができる。先に述べたように、ミドリシジミ類のオスにとって、活発に占有行動を行うことは、種の存続にとって非常に重要な行為である。同時に、ミドリシジミ類が生物である以上、体温調節も欠かすことができない。生物にとって、一般に体温が許容範囲外になるということは、酵素反応の効率が下がったり細胞膜の流動性が変化したりして、生死に関わるような影響をもたらす(池内ほか, 2018)。よって、体温調節は、生物が自らの生命を維持するための極めて重要な行為であると言える。これらの生態学的要素をどちらも満たすために、ミドリシジミ類のオスは、体温調節をするために翅の開き方を変化させたとしても、翅全体では曇りの条件と晴れの条件との間で、他のオスに対する自身の存在感を同じレベルに揃えることができる翅を有していると考えられる。

以上のように、ミドリシジミ類のオスは、その特殊な翅を自身の生命、ひいては自身の種を存続させるために、いくつかの方法で役立っていると考えられる。

今後の展望

- ・今年の研究では、ミドリシジミ類のオスのみに注目した。機会があれば、オスがメスと出会い、その後の交尾に至るまでの過程で、翅の色味や輝きを役立てている場面があるのかについても研究してみたい。
- ・ミドリシジミ類以外にも、翅に輝きのある種はいくつか存在するため、それらの種もミドリシジミ類と同様に輝きを活かしているのか、あるいは違った方法で違った場面に活用しているのかどうかを調査・研究したいと思う。

参考資料・引用文献

江口英輔・木下充代 (1999) 昆虫の行動と色覚反応. 植物防疫, 53(6):1-4.

岐阜聖徳学園大学 教育学部 上川研究室 ヤマトタマムシ.

<http://www.ha.shotoku.ac.jp/~kawa/KYO/SEIBUTSU/DOUBUTSU/09kochu/tama/tama/index.html>

(2023年8月14日閲覧)

後藤哲雄・上遠野富士夫 (2019) 農学基礎シリーズ 応用昆虫学の基礎. 205pp., 農山漁村文化協会(東京).

長谷川大 (2020) 日本のゼフィルス. 176pp., むし社(東京).

福田晴夫・浜栄一・葛谷健・高橋昭・高橋真弓・田中蕃・田中洋・若林守男・渡辺康之 (1982) 原色日本蝶類生態図鑑(I). 277pp., 保育社(大阪).

池内晶彦・伊藤元己・箸本春樹・道上達男 (2018) キャンベル生物学 原書11版. 1643pp., 丸善出版(東京).

今福道夫 (2023) チョウの翅は、なぜ美しいか その謎を追いかけて. 203pp., 化学同人(京都).

猪又敏男 (2001) 原色蝶類検索図鑑. 223pp., 北隆館(東京).

駒井古実・吉安裕・那須義次・斉藤寿久 (2011) 日本の鱗翅類 系統と多様性. 1305pp., 東海大学出版会(神奈川県).

國友正和ほか (2017) 改訂版 総合物理2 -波・電気と磁気・原子-. 342pp., 数研出版(東京).

中瀬悠太 (2017) かがやく昆虫のひみつ. 63pp., ポプラ社(東京).

日本チョウ類保全協会 (2019) フィールドガイド 増補改訂版 日本のチョウ. 343pp., 誠文堂新光社(東京).

白水隆 (2006) 日本産蝶類標準図鑑. 336pp., 学習研究社(東京).

田中源吾・高橋克之・小池智 (2010) ミドリシジミ亜科2種の上層鱗に見られる構造色について. 群馬県立自然史博物館研究報告, (14):51-57.

東邦大学 理学部 生物分子科学科 可視光線 (visible light). https://www.toho-u.ac.jp/sci/biomol/glossary/chem/visible_light.html (2023年8月13日閲覧)

渡辺浩 (2017) 新・福島県の蝶. 161pp., 自刊.

養老孟司・奥本大三郎・池田清彦 (2011) ぼくらの昆虫採集. 335pp., デコ(東京).

Arikawa K., Inokuma K., Eguchi E. (1987) Pentachromatic visual system in a butterfly. *Naturwissenschaften*, 74:297-298.

Imafuku M. (2013) Sexual differences in spectral sensitivity and wing colouration of 13 species of Japanese Thecline butterflies (Lepidoptera:Lycaenidae). *Eur J Entomol*, 110:435-442.

株式会社DMZ カラーコード変換ツール. <https://tech-unlimited.com/color.html> (2023年8月15日閲覧)

株式会社研文社 <https://www.kenbunsha.jp/commusapu/design/3203/> (2023年8月15日閲覧)