

第18回「科学の芽」賞 応募用紙

受付番号 : GH0114

応募部門 : 高校生部門

応募区分 : 団体応募

題名 : 岐阜市長良川堤防に生息するジャコウアゲハとホソオチョウの競合について

学校名 : 岐阜県 県立岐阜高等学校

学年 : 2年生

代表者名 : 脇原 千颯

※ 個人情報保護のため、入力された項目から抜粋して出力しています。

岐阜市長良川堤防に生息するジャコウアゲハと

ホソオチョウの競合について

氏名：脇原千颯 前田蒼煌 浅井大蓉 神田晃尚 松久弘大
辻内 凜 中村友哉 朝日快成 佐藤章翔

学校名：岐阜県立岐阜高等学校

1. 研究の背景 (動機)



図 1: ジャコウアゲハ(雌)



図 2: ホソオチョウ
(上:雌 下:雄)



図 3: ジャコウアゲハ
の蛹に寄生していた
寄生バチ

ジャコウアゲハ (*Atrophaneura alcinous*) はアゲハチョウ科の蝶でウマノスズクサ (*Aristolochia debilis*) やオオバウマノスズクサ (*Aristolochia kaempferi*) を食草としている。ジャコウアゲハの和名は雄成体が麝香のような香りを出すことに由来する。食草のウマノスズクサは毒性のあるアリストロキア酸¹⁾を含み、これを摂取することにより幼虫は体内に毒を蓄積する²⁾。それにより、鳥からの捕食を逃れていると考えられている³⁾。この毒は一生を通じて体内に残るために、捕食者は中毒を起こす。しかし、寄生蜂であるヒメバチからの捕食は免れていない。私たちの観察の過程でも、ジャコウアゲハの蛹からヒメバチが出てくることがあった。ジャコウアゲハに擬態するものとしては、クロアゲハ、オナガアゲハ、アゲハモドキ等が挙げられる。

ホソオチョウ (*Sericinus montela*) はアゲハチョウ科のチョウで、朝鮮半島より人為的に持ち込まれたと考えられており、現在、環境省が総合対策外来種、重点対策外来種⁴⁾に指定している。食草はウマノスズクサのみで、ジャコウアゲハとは違い、オオバウマノスズクサは食草として利用しない。前述したように、この2種は同じウマノスズクサを食草としている。そのため、オオバウマノスズクサがない地域では食草をめぐる競合していると考えられている。ホソオチョウの発生する場所での個体群密度は非常に高く、発生地周辺のウマノスズクサを食い尽くすことも報告されている⁵⁾。しかし、農業害虫でないこともあり、駆除はほとんど行われていない。ホソオチョウの蛹は少しの振動でも落下することが報告されており⁶⁾、ホソオチョウは日本で必ずしも繁栄せず、そして数年で絶滅するのではないかと考えられている⁶⁾。このような報告がある一方で、私たちが野外観察を行った結果、岐阜市長良川堤防のウマノスズクサ

を食草とするジャコウアゲハとホソオチョウにおいてはジャコウアゲハが減少する可能性が危惧された。このため、岐阜市長良川堤防における両種の間関係を明らかにすべく、発生消長や人為的な堤防の草刈りによる影響を調べ、ジャコウアゲハとホソオチョウが共存しているのかを調査することにした。

2. 研究の目的

食草であるウマノスズクサが地域によっては希少種になりつつある現状で、ジャコウアゲハ(在来種)は、ホソオチョウ(外来種)とウマノスズクサを巡って競合関係であっても個体群を今後も維持していくことができるのだろうか。現在、岐阜県ではホソオチョウの駆除など

は行われていないが、今後行う必要がないのかを明らかにすることを目的に調査と実験を行った。このことを明らかにするには、両種の繁殖力を比較するだけでは意味がない。なぜなら、両種が食草としているウマノズクサは長良川堤防に生息しており、年2回の堤防管理のための行政による除草とも密接に関係している。そのため、野外のウマノズクサの量の変動と、両種の間関係を正確に把握したい。

3. 実験方法

①野外での成体数の調査

岐阜市長良川堤防のウマノズクサの分布を調べ、ウマノズクサが局所的に生息していることを確認したため、その周辺の両種の成体個体数を2023年3月22日～現在まで蝶が飛翔できる晴れた日は毎日継続的に調査した。この調査では、雌雄の個体数の発生状況を調べるために、雄と雌は分けてカウントした。ジャコウアゲハとホソオチョウの発生時期の重なりを調べ、幼虫の大きさを比較していくことで、どの大きさの幼虫どうしが食草をめぐる競合をしているのかを予測した。

②ジャコウアゲハとホソオチョウの卵数の比較



図4: ジャコウアゲハの産卵実験の様子



図5: ジャコウアゲハの卵の様子

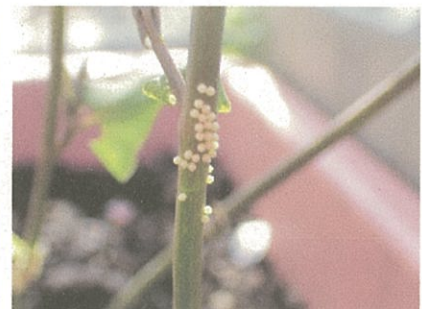


図6: ホソオチョウの卵の様子



図7: 解剖の様子

ホソオチョウがどの程度ジャコウアゲハの個体群に影響を与えるかについては、1個体当たりの産卵数が大きく関係すると考え、次のような実験を行った。ホソオチョウの幼虫の個体群密度が非常に高いのに対して、ジャコウアゲハの個体群密度は低いことから、産卵数に大きな差があることが予測されたため、1個体あたりの産卵数を確認することが目的である。ジャコウアゲハとホソオチョウをそれぞれペアリングさせた後、室内で図4のような蚊帳(サイズ約180×200×145cm)を広げ、プランターに植えたウマノズクサに産卵させた。この実験を3回繰り返し、雌一匹あたりの産卵数を調査した。産卵後の死亡した雌は図7のように双眼実体顕微鏡を用いて解剖を行い、卵が体内に残っていないか確認した。死亡後に解剖を行うことで、産み残した卵を見逃すことなく数えることが出来る。実際、解剖すると多くの卵が残っている状態にあったため、解剖は必ず行う必要がある。

③蛹の糸の太さの比較

ホソオチョウの蛹はジャコウアゲハの蛹よりも糸が切れて落下しやすい傾向にあることが報告されている⁶⁾。このことは、長良川堤防の越冬世代の蛹の調査からも示唆された。そこで、ジャコウアゲハの蛹とホソオチョウの蛹の糸の太さを光学顕微鏡で測定した。糸の太さには個体差があるため、多数の糸の太さを計測して t 検定によって比較した。

④ホソオチョウの羽化

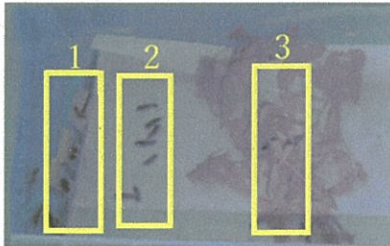


図 8: 実験中の様子

先ほど述べたようにホソオチョウの蛹を固定する糸は切れやすく、蛹は地面に落下することが多かった。そのため、産卵数がおよそ 300 個⁷⁾と多いホソオチョウは蛹の時期に落下して羽化不全する個体が多いために成体数は減少するのではないかと考えた。そこで、地面に落下した場合にホソオチョウの蛹が正常に羽化できるのかを調べるために、蛹を置く状況を変え、羽化の様子を赤外線ビデオカメラで動画撮影した。蛹は以下の場所に置いた(図 8)。

- 1 壁に着けた。(蛹は葉の裏などに最初は固定されているので、その状況を再現した。)
- 2 地面に直接おいた。
- 3 地面に直接おきその上からウマノスズクサをかぶせた。(野外では地面に落下した場合には上に植物があると考えられるため。)

⑤室内飼育(高密度の飼育)個体と野外個体との比較

2 種がウマノスズクサをめぐる競合した場合、食草が不足することが予測される。その場合、成体にどのような影響が出るのかを検証するために、人為的に高密度状態を作り出して幼虫を飼育した。その後、成体になった時に前翅長を測定し、高密度飼育個体の前翅長と野外個体の前翅長を t 検定で有意差があるかを調べた。

⑥卵数と前翅長の関係

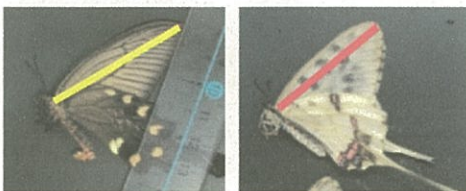


図 9: ジャコウアゲハとホソオチョウの前翅の計測場所

体の大きさが卵数に影響するのではないかと考え、ジャコウアゲハの雌とホソオチョウの雌の前翅長を測り、その卵数を調べた。前翅長はそれぞれ図 9 に示した線の長さを測り、室内飼育の個体と野外の個体に分けて t 検定を用いて有意差を調べた。卵数は②の卵数の比較を行った実験と同様に、蚊帳の中で産卵させ、死亡した後に解剖し、体内に残っている産み残した卵も含めて数えた。産卵させることができなかった個体は解剖して卵数を数えた。

4. 結果と考察

①野外での成体数の調査について

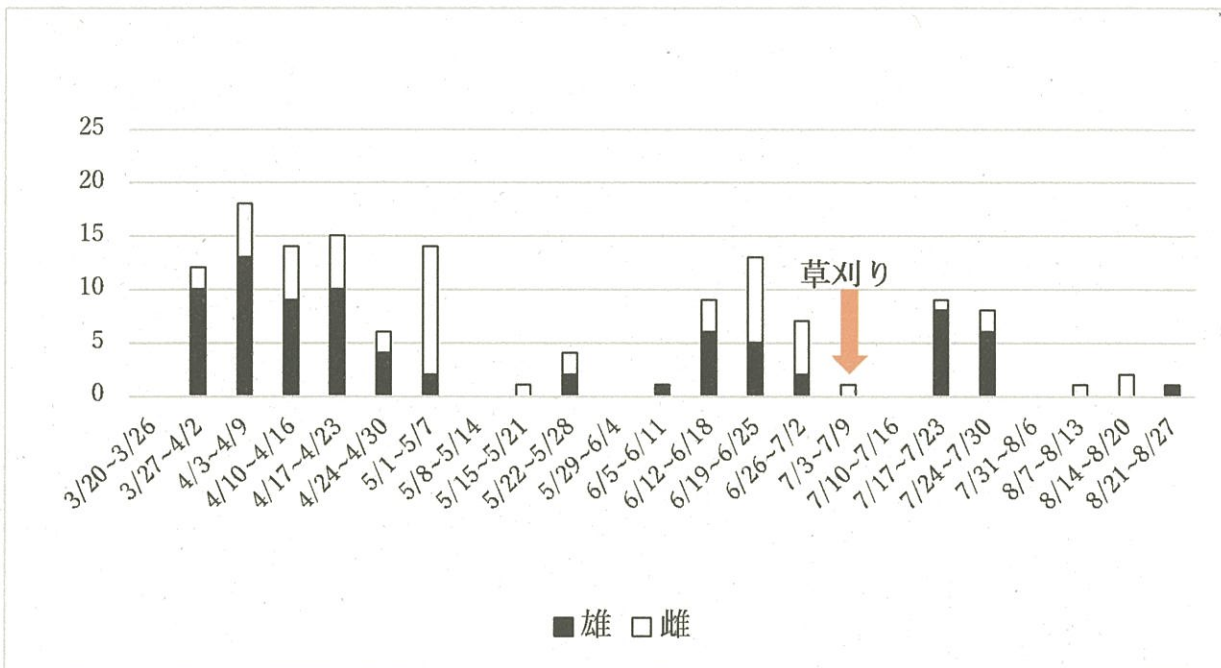


図 10: ジャコウアゲハの発生(2023)

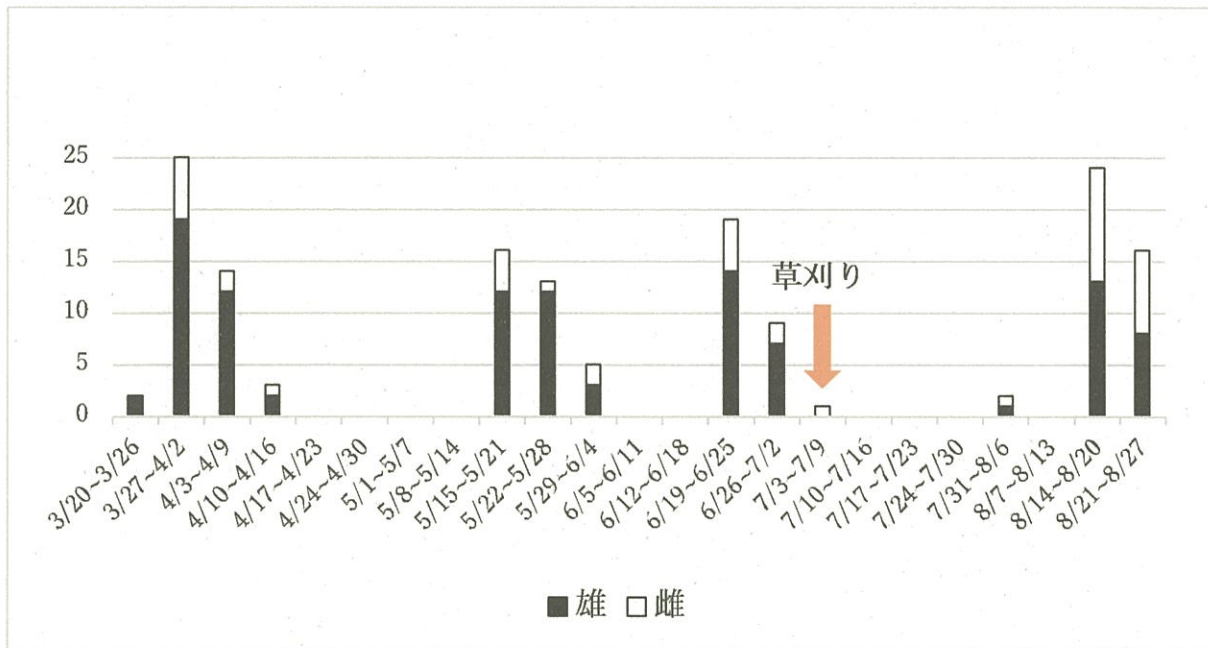


図 11: ホソオチョウの発生(2023)

調査結果から長良川堤防に生息するジャコウアゲハの成体は5月第2週と第5週, 7月の第2週, 8月の第1週を除き数匹ずつ連続して発生した一方で, ホソオチョウは4月11日~5月15日, 5月29日~6月18日, 7月10日~7月30日, 8月7日~8月13日を除いて大量に発生したことが分かった(図 10, 11)。私たちは, 両種の発生消長のグラフの形状は両方とも山なりになり, 一方がもう一方を追いかけるような変動を見せると予測していたが, 両種の発生消長のグラフの形状は全く異なっていた。先行研究により, ジャコウアゲハでは草刈りの頻度が激しい場合など, 食草が不足する場合には少数で連続的に発生するとある⁸⁾。つまり, 岐阜市長良川堤防に生息するジャコウアゲハは現在既に, 食草が不足した状態にあるということが明らかになった。また, 一度に発生する成体数の少ないジ

ジャコウアゲハは雌雄で交尾することが難しくなるため、今後ジャコウアゲハの個体群密度が更に低下すると予測される。

また、ホソオチョウの1回目の発生はジャコウアゲハよりも1週間早く始まることが分かった。このことからジャコウアゲハの幼虫が現れるころには先にホソオチョウの幼虫がウマノスズクサを利用していることが考えられるため、ウマノスズクサが少ない地域ではホソオチョウの方が優位に食草を利用できると考えられる。

また、今回の調査中7月4日(図10,11の赤の矢印)に堤防管理のための草刈りが行われた。発生が連続的に起こるジャコウアゲハは成体、幼虫、蛹のすべての時期が重なる時期で、ホソオチョウの成体と幼虫期が重なる時期に草刈りが行われた。ジャコウアゲハは草刈りの後、1週間で成体が確認され、ホソオチョウも1か月後に成体が確認された。このことから今回の草刈りは両種ともにどちらかの種の絶滅に繋がるような影響を与えなかったと考えられる。その理由として、まずジャコウアゲハは長期間連続的に発生するため、草刈り時期に蛹があり、それが羽化・産卵できたため、影響が個体群が維持出来たと考えられる。草刈り後のウマノスズクサの回復力を調査した結果、ウマノスズクサの成長は非常に速く、土壌中に根が残っている状態であれば、草刈りから20日で60cmまで成長した。このことから、草刈り後のジャコウアゲハの成体が発生・産卵する頃には幼虫が成長できる量のウマノスズクサがあったと考えられる。ホソオチョウは成体が草刈り前に残っていたため、生え始めのウマノスズクサに産卵することができたが、餌の量が少なかったため、4回目の成体発生までの期間が長くなったと考えられる。

今回の調査のように両種の発生活消長を確認することは、外来生物であるホソオチョウの駆除に非常に有効であると考えられる。なぜなら、ホソオチョウの成体の発生は一時期に集中しており、同様に幼虫期も一時期に集中することが明らかとなったからである。このことを利用して、幼虫期にウマノスズクサを刈ることで完全に駆除することができると考えられる。ジャコウアゲハの発生は長く続くため、どの時期に草刈りをしても、完全に取除かれることは考えにくい。ジャコウアゲハへの影響をさけるには、ホソオチョウが幼虫期で、ジャコウアゲハが蛹である時期が最も草刈りを行うのに望ましい。ホソオチョウを一斉に駆除することで、長野県ではその発生を1年半の間なくすことに成功している⁹⁾。堤防管理として定期的に年2回行われる堤防の草刈りの時期と方法を改善していくことで、効果的にジャコウアゲハの個体数を維持していくことが出来ると考えられる。

②ジャコウアゲハとホソオチョウの卵数の比較

蚊帳の中でのホソオチョウの産卵数は1個体目が32個、2個体目が68個であったが、ホソオチョウの成体は非常に弱いため、一度目の産卵の後も室内で継続して産卵させ続けることが出来なかった。国立環境研究所の報告によると、交尾後1時間程度から一度に20~40個の卵を一か所にまとめて産卵し、移動しながら合計300個ほどの卵を産卵するとある⁷⁾。そこで、雌成体の腹部解剖を行ったところ雌成体の大きさごとに大きな差があり81個~293個であった。

ジャコウアゲハの産卵は何日かかけて行われることもあり、1日当たりの産卵数の報告はあるが、1個体が産卵できる卵の数は正確に調査されていない。産卵数の報告が多いナミアゲハの総産卵数は200.5個との報告がある¹⁰⁾が、ジャコウアゲハの卵の直径はナミアゲハのものより大きく、それよりは少ないことが予測された。交尾後の雌2匹を、2日間にわたって蚊帳の中で産卵させた結果、産卵数はそれぞれ48個と47個というデータが得られた。

以上より、ジャコウアゲハの産卵(47.5個)に対して、ホソオチョウの産卵数(293個)は約

6.2倍であることが分かった。

③ 蛹の糸の太さの比較

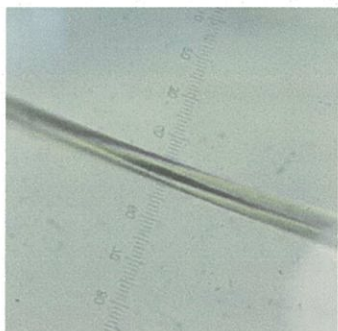


図 12: ジャコウアゲハの糸
倍率(15×40)

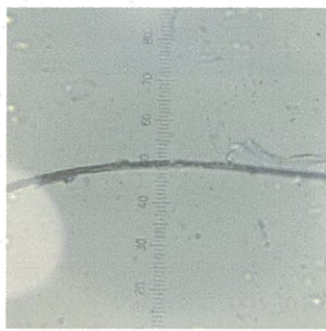


図 13: ホソオチョウの糸
倍率(15×40)

ジャコウアゲハとホソオチョウの蛹を固定している糸を採取して、糸の太さを光学顕微鏡で観察した。糸の太さには個体差があるため、ジャコウアゲハの糸 35 本、ホソオチョウの糸 10 本の太さを計測して対応のない t 検定を行った。その結果、ジャコウアゲハは平均 $18.7\mu\text{m}$ 、ホソオチョウは平均 $7.7\mu\text{m}$ の太さであり、条件間に有意な差が得られた。

($t(42)=-4.6538, p=3.72 \times 10^{-5}$)。このことからホソオチョウの蛹はジャコウアゲハの蛹より糸が弱く、落ちやすいと考えられる。実際にジャコウアゲハの幼虫は近くのコンクリートの壁面に蛹を作ることが多く、越冬して羽化した後の蛹の抜け殻もコンクリートの壁面に長く残り続ける。一方で、ホソオチョウは近くの植物で蛹になり、弱い振動で落下している。野外では羽化不全により飛行できずに死亡している個体が見られるが、その多くはジャコウアゲハであったため、ホソオチョウの蛹は落下後に羽化不全を起こすのかを以下で検証した。

④ ホソオチョウの羽化

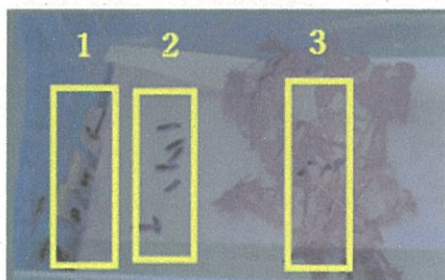


図 14: 実験中の様子

落下後の蛹は羽化不全を起こすのかを調べるために実験を行った。

図 14 の左から壁についている蛹(①)、直接地面に置いた蛹(②)、直接地面に置き上からウマノスズクサを上からかぶせた蛹(③)である。蛹は落下することで羽化不全を起こすのではないかと仮説を立てたが、結果はどのような状況でも羽化不全になることなく 18 個体中 18 個体すべてが正常に羽化した。②の場合と③の場合のどちら

もウマノスズクサの上や壁に上って羽化をした。一番長いものは約 10 分間羽を伸ばす場所を探し、歩き回っていた。羽を伸ばす場所を探しているうちに何度かウマノスズクサの上から落下する個体もいたが正常に羽化した。これらのことから、野外においてもホソオチョウの蛹は糸が弱く地面に落下した場合に正常に羽化することができると考えられる。また、ホソオチョウが蛹である時期に堤防の草刈りが行われた場合、蛹は地面に落下するため取り除かれにくく、更に地面でも正常に羽化することが予測されるため駆除の効果は低いと考えられる。

以上から、ジャコウアゲハは太い糸でしっかりとコンクリートなどの建造物に蛹を固定することが多く、ホソオチョウは細い糸で落ちやすい蛹を形成するのは、翅の大きなジャコウアゲハは、翅を完全に伸ばすために蛹がしっかりと固定される必要があるため、一方でホソオチョウは、翅が小さくどんな場所でも短時間に翅を伸ばすことができるため、蛹を固定する糸は細いもので十分なのであると考えられる。

⑤室内飼育(高密度の飼育)個体と野外個体との比較



図 15: 高密度飼育の様子



図 16: 同じ日に孵化したジャコウアゲハ

ホソオチョウの前翅長について、室内飼育個体のデータ数 39, 野外個体のデータ数 21 で t 検定を行い、条件間に有意な差が得られた ($t(58)=-6.1777, p=6.93 \times 10^{-8}$)。また、ホソオチョウの室内飼育個体の前翅長の平均は 31.048mm で、野外個体の平均は 35.423mm であった。これらのことから、ホソオチョウの前翅は室内飼育の方が野外の個体と比べて小さいと言える。これは、室内飼育では密度が非常に高い状態で飼育されていたことが原因で、十分に食べることが出来なかったからだと考えられる。次に、ジャコウアゲハについて、室内のデータ数 10, 野外のデータ数 14 で t 検定を行った結果、条件間に有意な差は得られなかった。 ($t(18)=1.6106, p=0.1246$) しかし、これはジャコウアゲハが高密度で飼育したときに影響がないということではないと考えている。なぜなら、ジャコウアゲハは同じ日に産み付けられた卵を高密度で同じケース内で飼育すると、非常に大きい個体と、全く成長せず死亡する個体が混在するからである(図 16)。そのため、ジャコウアゲハは高密度でも大きな個体と小さな個体が両方存在し、小さな個体の多くは幼虫期に死亡し成体にならないため、有意差がなかったと考えられる。

⑥卵数と前翅長の関係性

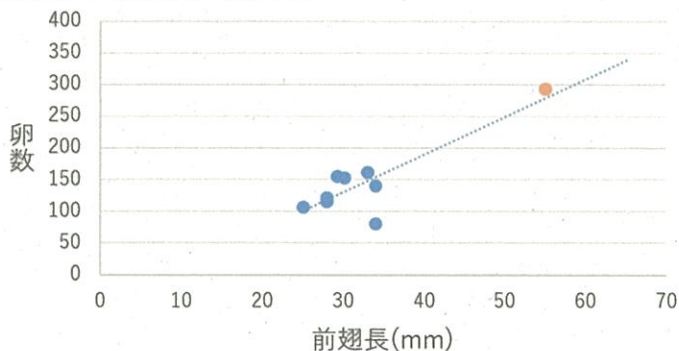


図 17: ホソオチョウの卵数と前翅長

ホソオチョウおよびジャコウアゲハの卵数と前翅長の関係性を、野外個体と高密度で室内飼育した個体で比較した。結果が図 17 と 18 である。図の赤の点は野外個体を、青の点は高密度で室内飼育した個体を示す。図 17 より、高密度になるとホソオチョウの前翅長が小さくなり、それに比例して卵数が減少しており相関が見られた。

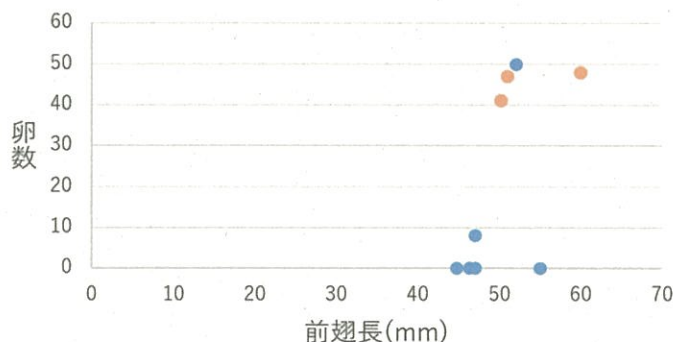


図 18: ジャコウアゲハの卵数と前翅長

図 18 より、ジャコウアゲハの卵数と前翅長には相関がなく、野外個体も高密度個体も前翅長に大きな差はみられなかった。しかし、野外個体の平均卵数が 47.5 個であるのに対して、高密度で飼育した個体の平均卵数が 9.7 個と大きく減少していた。また卵数が 0 の個体が 4 個体見られた。これらのことから、ジャコ



図 19: 共食いで穴が開いたジャコウアゲハの蛹

ウアゲハは高密度飼育をすると、成体の大きさよりも卵数に大きな影響を与える可能性があると考えられる。しかし、高密度飼育個体を示す青色の点が卵数 50 個のところにも 1 つだけ見られる。これは、図 16 のように、高密度飼育した中でも同じ日に孵化した幼虫の大きさに差が出ることや、図 19 のように、ジャコウアゲハが共食いを起こす種であることが影響している。大きい幼虫は小さい幼虫や蛹を共食いすることから、栄養を十分得られた個体だと考えられる。

5. 結論

これらの実験・観察の結果から、両種は幼虫期が何度も重なっており、野外に十分なウマノズクサがある環境を維持出来ない岐阜市長良川堤防では、ジャコウアゲハは現在も食草が不足している状態にあり、ホソオチョウと競合することにより、その個体数は大きく減少すると考えられる。野外の 1 個体当たりの卵数から考えても、ホソオチョウは繁殖力が強く、落下しやすい蛹ではあるものの、落下しても羽化不全せず正常に羽化出来ている点や、ジャコウアゲハは食草が不足すると卵数が極端に減少する点から、ジャコウアゲハの個体群を維持するためにはホソオチョウの駆除が必要だと結論付けた。

特に、食草をめぐる競争が激化するのには堤防の草刈りの時期である。岐阜市長良川堤防では、年 2 回の行政による草刈りが行われており、今年 7 月の草刈りの時期には野外のウマノズクサが激減した。この時期はジャコウアゲハの成体期、蛹期、幼虫期にあたり、多くの幼虫が死亡している様子が観察された。



図 20: 防草シートに覆われたウマノズクサの生息地

また、岐阜市長良川堤防のウマノズクサは、昨年度、一部が防草シートで覆われてしまったこともあり、ジャコウアゲハとホソオチョウが共生できるほど十分な量がないことが示唆された。そのため、今年度も、ジャコウアゲハとホソオチョウのウマノズクサを巡る競争は非常に厳しいものになったと考えられる。しかし、ウマノズクサは日向を好み、

他の草に覆われると成長しにくくなるため、堤防の草刈りはむしろウマノズクサを維持するために重要である可能性がある。ジャコウアゲハはホソオチョウよりも飛翔力が強く移動することができるため、草刈りが行われたとしても、移動可能な場所にウマノズクサの生息地があれば、あれば問題はない。ウマノズクサが防草シートで覆われることなく、各地点で交互に草刈りされては別の地点で回復するというサイクルを壊さないように配慮していくことが重要である。

他県ではホソオチョウが絶滅した事例も報告されている⁹⁾。これは、日本の環境が合わなかったという可能性もあるが、今回の結果ではホソオチョウの発消長は一時期に集中していたことから考えて、ホソオチョウの幼虫期に草刈りが行われることで大きく数を減らすことに成功したのではないかと考えられる。しかし、ホソオチョウが蛹の時に草刈りをすると、

糸の切れやすいホソオチョウの蛹は地面に落ち、そこで羽化してしまうことや、ホソオチョウは卵数が非常に多いことから、ホソオチョウの方が繁殖において有利だと考えられる。



図 21:プランターで栽培しているウマノスズクサ

今後は、昆虫の発生は気温に大きく影響を受けるため、今後も同じ調査を続け、データをより正確なものにし、行政の草刈りの時期の提案が出来るような正確なデータを蓄積していきたい。また、ウマノスズクサは京都府¹¹⁾、秋田県¹²⁾、新潟県¹³⁾、福井県¹⁴⁾で準絶滅危惧種に、東京都¹⁵⁾では絶滅危惧Ⅱ類に指定されている。ウマノスズクサが減少した主な原因としては、堤防がコンクリートや防草シートで覆われることが挙げられている。他県では、ウマノスズクサを残した手狩りでの除草が行われている場所もあり、地域ごとのウマノスズクサに対する意識の違いが大きいと考えている。岐阜県ではまだ絶滅危惧種に指定されていないが、多くの人にウマノスズクサが希少種であることを知ってもらうことでウマノスズクサの減少を防いでいきたい。

6. 参考文献

- 1)刈米達夫 内藤俊一 ウマノスズクサ成分の研究 (1955)
- 2)篠至厚 ウマノスズクサ科を寄主とするアゲハチョウ類の生活史に関する化学因子 (2004)
- 3)深海浩 生物相互認識に関する化学生態学的研究 (1991)
- 4)環境省 自然環境局 我が国の生態系等に被害を及ぼすおそれのある外来種リスト (2015)
- 5)橋本洸哉 植物を介した2種のチョウの間接相互作用:種特異的な餌要求量の意義 (2018)
- 6)河村幸子 外来種ホソオチョウとジャコウアゲハは競合しているのか (2018)
- 7)国立環境研究所 侵入生物データベース
- 8)加藤義臣 ジャコウアゲハの発生消長:平地個体群と山地個体群の比較 (2001)
- 9)大塚孝一 市村敏文 堀田昌伸 長野県のジャコウアゲハ生息地におけるホソオチョウの発生と駆除 (2015)
- 10)山中正博 鈴木芳人 高木正見 アゲハの日当たりの産卵数の推定 (1978)
- 11)京都府 京都府レッドデータブック 2015 (2015)
- 12)秋田県 秋田県版レッドリスト 2014(維管束植物) (2014)
- 13)新潟県 新潟県ホームページ 選定種一覧(レッドリスト) (2014)
- 14)福井県 福井県の絶滅のおそれのある野生動植物 (2015)
- 15)東京都環境局 東京都の保護上重要な野生生物種(本土部) ~東京都レッドリスト~2010年番 (2010)
- 16)高橋繁人 吉田俊康 浅野保夫 稲川貢 ジャコウアゲハ及び食草ウマノスズクサを保全するための堤防除草方法の検討
- 17)山中明 落合正則 チョウ類における帯糸黒色カ調節機構の解析 (2011)
- 18)渡邊守 アゲハ類における精子間競争-無核精子最後の戦い- (2015)
- 19)井上欣勇 木津川におけるホソオチョウとジャコウアゲハの季節消長
- 20)小長谷達郎 身近なチョウにも謎がある (2022)
- 21)Qiang Zhang Wei Sun Bang-Yong Sun Yang Xiao Ze Zhang The dynamic landscape of gene regulation during *Bombyx mori* oogenesis (2017)