

令和 6 年 4 月 20 日現在

機関番号：15501

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K15863

研究課題名（和文）甲虫類における前翅形態の多様性：捕食者防御と飛翔効率のトレードオフの解明

研究課題名（英文）Diversity of elytra morphology: tradeoffs between anti-predation and flight efficiency

研究代表者

小島 渉 (Kojima, Wataru)

山口大学・大学院創成科学研究科 ・講師

研究者番号：70750462

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では甲虫の硬さが天敵を回避する上で有効かを調べた。まず、コガネムシ科9種において硬さの比較を行った。破断試験と引張試験を行った結果、ハナムグリ類は他のコガネムシに比べて硬い体を持つことが分かった。つぎに、室内でウズラを用いて捕食実験を行った。その結果、硬い種であるハナムグリ類は嘴でつかれた場合も致命傷を負うことが少なかった。続いて野鳥（ムクドリとスズメ）を用いて捕食実験を行ったが、ハナムグリ類は無視されることが多かった。以上の結果から、ハナムグリ類の硬い体は鳥類からの捕食回避に有効であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

甲虫は最も成功した分類群と言われており、全動物種の25%をも占める。これまで、甲虫の硬い体は物理的防御として機能すると思われてきたものの、クモやトカゲを捕食者のモデルとして用いた研究がいくつか存在するのみで、実証例は少なかった。本研究により、甲虫の硬さが鳥類からの捕食を回避する上で有効であることが示されたが、鳥類を用いた研究としてはおそらく初めてのものである。このような甲虫の天敵回避能力の高さが、このグループの驚くべき多様化につながった可能性がある。

研究成果の概要（英文）：We demonstrated the critical role of the robust beetle exoskeleton in protecting against avian predation. We found that flower chafers (Scarabaeidae, Cetoniinae) have more robust bodies than other scarab species. Laboratory experiments with naive Japanese quail *Coturnix japonica* revealed that some individuals of intact Cetoniinae survived attacks without serious injury, while all individuals of soft scarab species or elytra-removed Cetoniinae were consumed. The survival rate of intact Cetoniinae increased under complex environments because the combination of its stiffness and elliptical shape made it difficult for quail to handle the prey. Field experiments with wild starlings and Eurasian tree sparrows demonstrated that most individuals of Cetoniinae species were ignored before being attacked, while soft species were readily preyed upon. These results collectively provide evidence that the robust exoskeleton of beetles renders them unprofitable to attack for the predators.

研究分野：行動生態学

キーワード：甲虫 物理的防御 捕食

1. 研究開始当初の背景

昆虫は外敵に対して様々な防御機構を進化させている。最もよく研究されているものは、味の悪い化学物質による防御である。化学防御を持つ昆虫はしばしば派手な外見をしており、捕食者はまずい餌であることをその派手な外見と関連づけて学習し、記憶する (Skelhorn & Rowe 2006 Biol Lett)。一方で、化学防御だけでなく、物理的な防御と思われる形質も昆虫に極めて普遍的に見られる。実際に、我々の周りで見られる多くの昆虫は硬い外骨格に覆われている。しかし、化学防御と異なり、‘硬い’という性質が本当に捕食を回避するうえで役に立つのかは、わずかな例を除き実証されたことがない (Linz et al. 2016 Sci Rep; Wang et al. 2018 J Exp Biol)。また、味の悪い餌と同じように、捕食者が硬い餌も学習・記憶して避け続ける可能性があるが、これもほとんど検証例がない (Tseng et al. 2014 PLOS ONE)。

2. 研究の目的

甲虫目は、種数にして全昆虫種の3分の1を占める巨大なグループであり、200以上の科を含む。甲虫の最大の特徴は、クチクラによって硬化した前翅(鞘翅)を持つことであり、鞘翅を獲得したことが、甲虫の適応放散による多様化において重要な役割を果たしたと考えられている (Ferns & Jervis 2016 Entomol Exp Appl)。鞘翅の機能としては、天敵からの物理的防御が重要であると考えられている (Linz et al. 2016; Sci Rep)。また、昼行性の甲虫の中には、化学防御を持たないと思われるにもかかわらず派手な構造色を持つものが多く、これらの色彩は捕食者に自らが硬くて食べられない餌であることを示す“警告色”として機能している可能性がある。鞘翅の色彩が警告色としての意味を持つなら、捕食者は硬い餌の外見を学習・記憶できるはずである。本研究では、甲虫目のコガネムシ科の甲虫を用いて、硬い鞘翅が鳥類捕食者からの防御に役立つかを調べる。鳥が丸呑みできないくらい体が大きい昆虫の場合、硬いという性質はより防御効果を発揮する可能性があるため、被食者の体の大きさと硬さの交互作用に特に注目する。さらに、硬くて食べられない餌を経験した鳥類捕食者が、それを学習・記憶するかについても明らかにする。本研究によって、昆虫の中でも特に繁栄したグループである甲虫類の最大の特徴である“硬い鞘翅”の適応的意義を明らかにすることができ、甲虫類の多様化や警告色・擬態の進化について新しい視点から議論が可能になる。

3. 研究の方法

a. 大きくて硬い甲虫は食べられにくいのか？

飼育したウズラに対してコガネムシ科の甲虫を与えて捕食されるかを観察し、硬い種ほど食べられにくいかを調べる。予備的な実験からは、コアオハナムグリ、ヒメアオハナムグリ、ナミハナムグリ、シロテンハナムグリは他種に比べてずっと硬いことが分かっている。そこで、これら4種については、鞘翅を人為的に除去したのもウズラに与え、無処理の個体に比べ、食べられやすくなるかを調べる。この実験により、物理的防御以外の防御法によって捕食回避されている可能性を排除できる。

b. 捕食者は硬い餌を学習・記憶するか？

ウズラが硬くて食べられない甲虫を学習・記憶するかについて調べる。上の実験で、ウズラが食べることでできなかった種の甲虫を、10分間隔で最大5回連続で投与する。本実験で対象とする甲虫は、野外において狭い範囲に高密度で見られることが多く、捕食者が立て続けに同じ種と遭遇する状況を想定したものである。ウズラが大きくて硬い甲虫を“食べられないもの”として学習するのであれば、2回目以降、甲虫を無視する確率が高くなると予想される。

より長期的な記憶についても調べるため、上の実験で甲虫を学習したウズラ(甲虫を無視するようになった個体)を用い、24時間後に再度同じ種の甲虫を与える。その時点で記憶が維持されていた個体(甲虫を無視した個体)には、さらに1週間後にも同じ甲虫を与えることで、どのくらいの期間にわたり記憶が維持されるかを調べる。

c. 甲虫の硬さの比較

実験に用いた9種(鞘翅除去などの処理をした個体を含む)および様々なコガネムシ科昆虫(約30種)を野外から採集する。体の硬さは、Wang et al. (2018)に倣い、コピースタンドに取り付けた力変換器にウズラの嘴あるいはそれに模した金属の棒を接着し、甲虫の腹部背面から押し付けることで計測する。腹部を破壊するのに必要な力を、甲虫の硬さの指標とする。それぞれの甲虫の硬さと、aの実験での被食率を比較し、硬い種ほど食べられにくいかを調べる。また、それぞれの種の生態的条件と硬さの関係についても調べ、鳥の捕食圧が高いと思われる種(昼行性など)ほど硬い体を持つかを検討する。

4. 研究成果

コガネムシ類9種の硬さの比較を行ったところ、ハナムグリ類は他の種に比べてより硬い体を持つことが明らかになった。ハナムグリ類の硬い外骨格が鳥類捕食者に対する物理的防御機能を持つかを、野外における捕食実験により検証した。飼育したウズラに対してコガネムシ科の甲虫を与えたところ、硬い種であるコアオハナムグリとナミハナムグリは無傷のまま生き延びる確率が高かった。また、9種のコガネムシ類を、野外で餌付けされたムクドリに与えたところ、体サイズが大きく、かつ硬い体を持つ種(カナブンとシロテンハナムグリ)はほぼすべての個体が無視された。それらの種はまったく無傷のまま生存していた。それらの忌避された種と同程度かそれ以上に体が大きくても、柔らかい体を持つ種は必ず捕食を受けた。また、硬い体を持っていても、体サイズがムクドリのゲープサイズより小さい種も必ず捕食を受けた。さらに、ムクドリから忌避された種(シロテンハナムグリ)の鞘翅、頭部、前胸部を除去し、オリジナルのものと同外見と硬さが大きく異なる個体を用意しムクドリに与えたところ、大部分の個体が捕食を受けた。つまり、これらの種は味が悪いだけのため忌避されたわけではないこと、そして、ムクドリはこれらの種の外見を学習・記憶し、忌避すると考えられる。以上の結果から、ハナムグリ類の硬い外骨格は鳥からの捕食を回避する機能を持つことが示された。この効果は大型の種のみで見られたことから、硬い昆虫をムクドリは解体できない、あるいは解体するのに大きなコストがかかると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小島渉、中田敏是
2. 発表標題 甲虫類の硬い外骨格は鳥類からの捕食回避機能を持つ
3. 学会等名 第67回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小島渉
2. 発表標題 鞘翅の生態学
3. 学会等名 オンライン基礎昆虫学会議（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------