

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2023

課題番号：18K05740

研究課題名(和文) 環境指標生物としての地表徘徊性甲虫類の生活史戦略と飛翔形質の進化系列の関係

研究課題名(英文) Ecology of ground beetles as environmental indicators and the evolutionary process of their flight traits

研究代表者

渋谷 園実 (Shibuya, Sonomi)

東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・特任研究員

研究者番号：50598232

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：地表徘徊性甲虫類(オサムシ科)は、生息地の環境変化に鋭敏に反応するため、環境指標生物として、国内外でモニタリングされているが、そのデータを的確に解釈するには、出現種の生態にもとづき種組成や個体数の変化のメカニズムを考察する必要がある。そこで、野外調査と解剖を組み合わせることで、広域に出現し捕獲頻度の高い57種の季節消長、飛翔能力、食性、繁殖型を明らかにし、生活史戦略を類型化した。次に遺伝子解析を行い、それぞれの種の系統関係を明らかにし、さらに祖先復元を行った。その結果、祖先種は飛翔能力があり、食性は肉食と推定された。飛翔性も食性も、異なった族で独立に進化した収束進化がみられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地表徘徊性甲虫類(オサムシ科)は、1つの科で非常に幅広い生態を示した。飛翔性は、後翅が短翅に退化しているもの、発達した長翅を有しながら飛翔筋が退化して飛べないもの、高い飛翔性を示すものまであり、食性も肉食のものから植食のものまでであった。繁殖様式も、春繁殖型・秋繁殖型に加え、小卵多産型のものから大卵少産型のものまでであった。また、系統解析からその多様な生態の分化過程が明らかになった。現在も後翅の退化が進行中の種がいる可能性があり、学術的に興味深い分類群である。応用面としては、本分類群は環境指標生物として調査されているが、今回明らかになった知見を活かすことでその調査結果の解釈への寄与が期待される。

研究成果の概要(英文)：Ground beetles (Carabidae) are sensitive to environmental changes in their habitat, so they are frequently used as environmental bioindicators. However, we cannot fully understand the reason for their response due to the lack of basic knowledge on their ecology. To overcome this shortage, we intended to incorporate various data obtained through dissection with field surveys. We investigated seasonal activities, flight muscles and hindwing morphology to determine flight ability, and gut contents to examine feeding habits of 57 beetle species and used DNA analyses to elucidate their evolutionary relationships. Based on the ancestral reconstruction, the ancestral species was estimated to have flight ability. The gut dissection showed a variety of feeding habits, from carnivorous to herbivorous, and our study suggested that the ancestors were carnivores. Loss of flight ability and the change of feeding habits occurred independently several times in a convergent evolutionary process.

研究分野：生態学

キーワード：飛翔形質 繁殖型 食性 解剖 生活史戦略 系統解析

## 1. 研究開始当初の背景

地球規模で温暖化などの環境変動が、生態系や生物多様性にどのような影響を与えるのかを明らかにすることが、現在求められている。そのために、生態系の変化を知るための長期モニタリングと、生態系の機能を組み込んだモデリングによる将来予測が行われている。

生態系の長期モニタリングにおいては、すべての生物種を対象とすることは不可能であるため、生態系の骨格をなす植物群集や鳥類、チョウ目昆虫などが代表として取り上げられている。そして、本研究の対象である地表徘徊性甲虫類（コウチュウ目オサムシ科）も、生息地の環境の変化に鋭敏に反応することから環境指標生物として古くから注目されており、英国のEnvironmental Change Networkのモニタリングやわが国の「モニタリングサイト1000」（環境省生物多様性センター）でも調査対象とされている。

しかし、地表徘徊性甲虫類（オサムシ科）は、オサムシ亜科や一部の種を除けば、生活史や食性などの基本的な生態情報が解明されていないため、モニタリングの結果として群集の種組成や個体数の変動が明らかになっても、それがどのような環境変化によってどのようなプロセスを経て発現しているのかわからない。つまり、環境の変化に対して地表徘徊性甲虫種の種組成や個体数が鋭敏に変化するという現象自体は広く知られているものの、なぜ種組成や個体数が変化するのか？が判らなければ、モニタリングデータから生態系へのインパクトを理解し、将来を予測することはできない。

また、地表徘徊性甲虫類（オサムシ科）の中であって研究が進んでいるオサムシ亜科においては、後翅が退化している種が多いため、オサムシ科全体が飛翔能力を持たない系統群とみなされがちであるが、実際には後翅が退化せずに発達している種が多く存在し、さらに後翅の形態に種内変異があることが明らかにされつつある。また、飛翔性を持つ種と持たない種では、環境変化への応答が大きく異なることから、飛翔能力を明らかにすることはきわめて重要である。一般に昆虫の飛翔能力は、餌資源の存在様式や卵の大きさ・数などの繁殖様式と密接に関連しており、地表徘徊性甲虫の飛翔能力の有無は、食性や繁殖様式と合わせて種の生存戦略として理解することが求められる。

## 2. 研究の目的

環境指標生物としてモニタリングされている地表徘徊性甲虫類（オサムシ科）のうち、分布域が広く出現頻度の高い種について、その生態を調べ、調査結果を読み解く際の基礎データを構築する。次に DNA 解析を行いそれぞれの種の系統関係を明らかにし、生活史戦略の進化過程を総合的に理解することを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 地表徘徊性甲虫類の生態

ピットフォールトラップで定期的に採集した地表徘徊性甲虫類を種ごとに雌雄を分別し、季節消長を調べた。これらの野外調査に加え、解剖により繁殖期と蔵卵型・飛翔性・食性を調査した。

なお、対象種は、当初予定していた 36 種から 57 種まで増やした。

#### 季節消長と繁殖期

年間を通じて捕獲した個体を種ごとに季節消長を調べた。その際、雌雄も判定して出現時期の傾向を調べた。次に、出現した時期ごとに解剖を行い生殖器官の成熟度を判定し、繁殖時期を明らかにした。その際メスについては卵巣、オスについては付属腺の発達度合いで判定した。メスが蔵卵している際は、卵の保持数を計測した。また卵の長径を測定し、体長との比較として相対卵長（卵長/体長）を算出した。

#### 飛翔性

**後翅**：右の後翅を後胸から取りはずし、ケント紙にボンドで貼り付け、実体顕微鏡下で後翅の形状を調べた。次に翅の基部から先端までの長さをデジタルノギスで測り後翅長とした。

**飛翔筋**：飛翔筋は、後胸を解剖して、間接飛翔筋のうち背部に水平にのびる縦走筋 (dorsal longitudinal indirect muscle) と背部から腹部に垂直にのびる背腹筋 (dorsal ventral indirect muscle) の有無で判断した。

### 食性

実体顕微鏡下で消化管 (前腸、中腸、後腸) を体内から摘出し、内容物を取り出し観察した後、プレパラートを作成して光学顕微鏡下で 40 ~ 400 倍で観察した。

顕微鏡観察に加えて、肉食であるかを確認するために、試験紙を用いて蛋白質の有無を確認した。次に、種子食かを確認するため、ヨウ素液を 35 $\mu$ L 滴下し、光学顕微鏡下で青紫色に染色されたデンプン粒の有無を観察した。

## (2) 地表徘徊性甲虫類の遺伝子解析：系統樹と祖先復元

地表徘徊性甲虫類 (オサムシ科) のうち、Harpalinae, Brachininae そして Carabinae の亜科を中心とした 57 種を対象とした。特に分布域が広く捕獲の頻度が高い Harpalinae 亜科に関しては、Harpalini、Pterostichini、Sphodrini、Zabrini、Chlaeniini、Abacetini、Cyclosomini、Galeritini、Lebiini、Licinini の 10 族に属する 47 種を対象とした。これら 57 種の核 DNA およびミトコンドリア DNA の塩基配列にもとづき系統関係を明らかにした。また、飛翔形質や食性の進化 (退化) 過程の推定を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 地表徘徊性甲虫類の生活史戦略の類型化

#### 季節消長と繁殖期

**活動性と繁殖期**：1) 春に活動 (捕獲) のピークを迎え、その時期にメスは蔵卵、オスは付属腺が発達し性成熟する春繁殖タイプ、2) 秋に活動のピークを迎え、その時期に蔵卵、付属腺が発達する秋繁殖タイプ、3) 初夏から盛夏にピークを迎え繁殖するタイプの3タイプに分類された。

**卵の大きさと保持数**：1) 大きな卵を少数持つ大卵少産型、2) 小さな卵を多数持つ小卵多産型に分類された。

#### 飛翔性

**後翅の翅型**：地表徘徊性甲虫類の後翅の翅型は、以下の5つのタイプに分類された。

1) 長翅型、2) 短翅型、3) 長翅・短翅個体が混在する翅二型、4) 長翅・短翅・その中間個体が混在する翅多型、5) 後翅の翅先が変異する後翅端変異型。

**飛翔筋**：飛翔するためには、飛翔筋が必要だが、長翅型でも飛翔筋を持つ種と、持たない種が存在した。

#### 食性

地表徘徊性甲虫類の食性は、1) ミミズやカタツムリ、大型の昆虫の幼虫などの餌生物の内部を選択的に捕食する肉食者、2) トビムシや小形の昆虫の幼虫そして成虫など多種多様な餌生物の内部だけでなく外部も含めて捕食する広食の肉食者、3) 種子などを中心に餌とする植食者が存在した。

食性と飛翔能力は互いに関連しており、種子食の種は飛翔性が高く、土壤動物などを捕食する種は飛翔性が低い傾向がみられた。

## (2) 遺伝子解析による各種の系統関係と、飛翔形質を中心とした生活史戦略の進化過程の検討

57種の遺伝子解析を行い、それぞれの種の系統関係を明らかにした。また、飛翔形質の進化 (退化) と食性の進化過程を調べるため、祖先復元を行った。その結果、祖先種は飛翔能力があり、食性は肉食であったと推定された。それぞれの族で植物食の種では飛翔性が保たれているのに対して、肉食の種では飛翔性の退化の多様な段階がみられ、食性に対応した飛翔性の収束進化が示された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Shibuya Sonomi, Kiritani Keizi, Fukuda Kenji	4. 巻 66
2. 論文標題 Life history traits of five ground beetle (Coleoptera: Carabidae) species common in Honshu Island, Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae	6. 最初と最後の頁 185, 198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.17109/AZH.66.Suppl.185.2020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 渋谷園実・桐谷圭治・福田健二	4. 巻 22
2. 論文標題 里山の環境指標生物としての アトボシアオゴミムシ (オサムシ科) の後翅端変異と季節消長, 繁殖様式, 食性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 昆虫 (ニューシリーズ)	6. 最初と最後の頁 77, 89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shibuya Sonomi	4. 巻 -
2. 論文標題 Comparative study of biology on ground beetles (Coleoptera: Carabidae) - flight ability, feeding habits and fecundity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ARPHA Conference Abstracts 2: e37064	6. 最初と最後の頁 1, 3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3897/aca.2.e37064	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 渋谷園実、桐谷圭治、福田健二
2. 発表標題 クロツヤヒラタゴミムシの生態 Biology of Synuchus cycloderus (Coleoptera: Carabidae)
3. 学会等名 日本昆虫学会第78回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sonomi Shibuya
2. 発表標題 Comparative study of biology on ground beetles (Coleoptera: Carabidae) - flight ability, feeding habits and fecundity
3. 学会等名 19th European Carabidologists Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林 大祐、宗 祥史、中村 頌湧、渋谷 園実、徳田 誠
2. 発表標題 市街地の緑地におけるゴミムシ類(コウチュウ目オサムシ科)の種構成と翅型
3. 学会等名 第3回九州・沖縄昆虫研究会、2019年度日本鱗翅学会九州支部合同大会、第10回日本甲虫学会、第22回日本昆虫分類学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林 大祐、宗 祥史、渋谷 園実、徳田 誠
2. 発表標題 佐賀市の緑地で採集されたゴミムシ類(甲虫目:オサムシ科)における翅型及び飛翔筋所持率
3. 学会等名 日本昆虫学会第81回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渋谷 園実
2. 発表標題 環境指標生物としての地表徘徊性甲虫類の多様な飛翔性と食性
3. 学会等名 第133回日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林 大祐、宗 祥史、渋谷 園実、徳田 誠
2. 発表標題 市街地の隔離された緑地におけるゴミムシ類（コウチュウ目オサムシ科）の種構成と翅型、飛翔筋
3. 学会等名 第65回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宗 祥史、林 大祐、奥園 元晴、吉田 一貴、渋谷 園実、徳田 誠
2. 発表標題 夜間に飛翔する大量の地表徘徊性甲虫類：九州北部で実施したサーチライトトラップによる捕獲調査
3. 学会等名 日本昆虫学会第82回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渋谷園実
2. 発表標題 地表徘徊性甲虫の多様な生態、Various ecological traits of ground beetles (Carabidae )
3. 学会等名 日本昆虫学会第 83 回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中則政、渋谷園実、松下範久、福田健二
2. 発表標題 市民農園で採集された地表徘徊性甲虫類の生態
3. 学会等名 日本昆虫学会第84回大会・第68回日本応用動物昆虫学会大会 合同大会
4. 発表年 2024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
研究 分担 者	福田 健二  (Fukuda Kenji)  (30208954)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授    (12601)	

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
---------	---------