

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K06839

研究課題名(和文) 雌の多回交尾の進化に関するbet-hedging仮説の実験的検証

研究課題名(英文) empirical tests of bet-hedging polyandry hypothesis in female insects

研究代表者

安井 行雄 (Yasui, Yukio)

香川大学・農学部・教授

研究者番号：30325328

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)：一般に雄は多くの雌と交尾するほど多くの子供を残せるが、雌は複数の雄と交尾しても(父親が入れ替わるだけで)子供を増やすことはできない。しかし多くの動物で雌は複数の雄と交尾する。この「雌の多回交尾」の進化は行動生態学・進化生態学の重要な研究課題である。

本研究は従来あまり有効でないとみなされてきた両賭け(bet-hedging)仮説を、新しい理論的視点から再検討するものである。5年間の研究期間で雌を1から4匹の雄と交尾させ、卵の孵化率、特に繁殖失敗(全ての卵が孵化しないこと)が起こる率を比較したところ、配偶者数が多いほど失敗が起こらない(世代間幾何平均適応度が高い)ことが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

bet-hedging理論とは、予測できない変動環境のなかでいかに絶滅せずに長期的存続を達成するかを扱うものである。有性生殖における不妊の発生も重大問題である。本研究は単に昆虫の交尾行動を研究しているのではない。混迷の時代に生きる我々人類の存続やSDGsなどの環境問題とも深く関わっている。

研究成果の概要(英文)：In general, the more females males mate with, the more offspring they can produce, but females cannot mate with more than one male to have more offspring (only to swap fathers). In many animals, however, females mate with more than one male. The evolution of this "female multiple mating" is an important research topic in behavioral and evolutionary ecology.

In this study, we re-examined the bet-hedging hypothesis from a new theoretical perspective: we mated females with one to four males over a five-year period and compared egg hatching rates, in particular the rate of reproductive failure (i.e., not all eggs hatching). It was found that the greater the number of mates, the fewer the failures (higher intergenerational geometric mean fitness).

研究分野：進化生態学

キーワード：polyandry evolution bet-hedging

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究は従来あまり有効でないと思われてきた両賭け (bet-hedging) 仮説を、メタ個体群構造を取り入れた新しい視点から再検討するものである。前研究課題 26440241 において、コンピュータシミュレーションモデルによる分析 (Yasui and Garcia-Gonzalez 2016) と解析的数理モデル (Yasui and Yoshimura 2018) によって、集団中に完全な繁殖失敗をもたらす雄が一定頻度存在し、かつ雌が雄の善し悪しを判定できないとき bet-hedging による雌の多回交尾の進化が可能であるという結果が得られていた。

2. 研究の目的

本研究は両賭け (bet-hedging) 理論によって雌の多回交尾の進化を普遍的に説明し、その予測を実験的に検証することを目的とする。両賭けはもともと生活史進化の理論として発展してきたもので、一カ所に固めずに分散させて産卵したり、休眠種子を不斉に発芽させたりすることが危険分散となり子孫の全滅を避ける上で効果的だとするものである。本研究では前述の数理モデルの予測を検証すべく、フタホシコオロギやコクヌストモドキなどのモデル昆虫を材料にして飼育実験を行った。

3. 研究の方法

フタホシコオロギの黒眼・白眼(劣性遺伝)系統を用いて多回交尾が繁殖失敗の回避につながることを示す。下表のように白眼系統の処女雌を1~4雄と交尾(目視で確認)させ、卵の孵化率を調べる。また眼色の遺伝に基づく父性判定により精子競争や精子選択(ランダム受精からの偏り)を評価する。ブロックごとに好適(25℃)または不適(35℃)な孵化温度の変動を与え、ブロック間の幾何平均適応度に対する影響を見る。この場合ブロックは疑似的に同一遺伝子型の複数世代とみなす(実データによるシミュレーション)。すなわちブロックB1の1雄交尾雌の子供がブロックB2の1雄交尾雌であり、1雄交尾という戦略を何世代も続けた場合の適応度を多雄交尾と比較する。10ブロック以上実験を継続し長期的(数年にわたる)な絶滅確率に及ぼす交尾回数(配偶者数)の効果を検出する。

交尾区の実験条件の例 (W: 白眼系統、B: 黒眼系統) 使用順序などはランダム化する

| ブロック B 1 (孵卵温度 25) | 雌 | 雄の使用順序 | ランダム受精における黒眼父性期待値 |
|-------------------------|---|--------|-------------------|
| 1 雄交尾区 | W | W | 0 |
| 2 雄交尾区 | W | BW | 0.5 |
| 3 雄交尾区 | W | BWB | 0.67 |
| 4 雄交尾区 | W | WBWB | 0.5 |
| ブロック B 2 (孵卵温度 35) | 雌 | 雄の使用順序 | ランダム受精における黒眼父性期待値 |
| 1 雄交尾区 | W | B | 1 |
| 2 雄交尾区 | W | WB | 0.5 |
| 3 雄交尾区 | W | WBW | 0.33 |
| 4 雄交尾区 | W | BWBW | 0.5 |

4 . 研究成果

実証研究において 3 本の論文を出版し、理論研究においては雌の多雄交尾にとどまらず生活史進化まで含めた bet-hedging 理論の拡張を行い、また進化生物学のより根源的な課題である有性生殖の進化に研究を拡大させた。5 年の研究期間で 8 本の論文が出版され 1 本が投稿中となっており予想以上の波及効果である。学会賞等も 5 回受賞している。実験研究においては計画通りの実験を実施でき、おおむね予測と合致する結果が得られている。総合すると計画以上の進展と言える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Matsumura Kentarou, Yasui Yukio | 4. 巻 188 |
| 2. 論文標題 Genetic link between mobility and sexual attractiveness in male <i>Tribolium castaneum</i> beetles | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Animal Behaviour | 6. 最初と最後の頁 111 ~ 117 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.anbehav.2022.04.010 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Yasui Yukio, Hasegawa Eisuke | 4. 巻 40 |
| 2. 論文標題 The origination events of gametic sexual reproduction and anisogamy | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Ethology | 6. 最初と最後の頁 273 ~ 284 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10164-022-00760-3 | 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 Yasui Yukio | 4. 巻 41 |
| 2. 論文標題 Mite dilemma: molting to acquire sexual maturity or not molting to ensure durability and dispersal ability in <i>Phorytocarpais fimetorum</i> (Parasitiformes; Gamasida; Parasitidae) | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Ethology | 6. 最初と最後の頁 177 ~ 184 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10164-023-00783-4 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Yasui Yukio, Yamamoto Yuto | 4. 巻 39 |
| 2. 論文標題 An empirical test of bet-hedging polyandry hypothesis in the field cricket <i>Gryllus bimaculatus</i> | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Ethology | 6. 最初と最後の頁 329 ~ 342 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10164-021-00707-0 | 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 Yasui Yukio | 4. 巻 37 |
| 2. 論文標題 Life history traits of the fairy shrimp <i>Branchinella kugenumaensis</i> are highly variable between neighboring rice paddies in Japan | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Ecological Research | 6. 最初と最後の頁 344 ~ 354 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1440-1703.12296 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Yasui Yukio | 4. 巻 37 |
| 2. 論文標題 Evolutionary bet hedging reconsidered: What is the mean-variance trade off of fitness? | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Ecological Research | 6. 最初と最後の頁 406 ~ 420 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1440-1703.12303 | 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 Matsumura Kentarou, Yasui Yukio | 4. 巻 188 |
| 2. 論文標題 Genetic link between mobility and sexual attractiveness in male <i>Tribolium castaneum</i> beetles | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Animal Behaviour | 6. 最初と最後の頁 111 ~ 117 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.anbehav.2022.04.010 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|--------------------|
| 1. 著者名 Matsumura Kentarou, Miyatake Takahisa, Yasui Yukio | 4. 巻 0 |
| 2. 論文標題 An empirical test of the bet hedging polyandry hypothesis: Female red flour beetles avoid extinction via multiple mating | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Ecology and Evolution | 6. 最初と最後の頁 1-10 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ece3.7418 | 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 0件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 安井行雄・長谷川英祐 |
| 2. 発表標題 性の進化の謎を解く：配偶子生殖と異型配偶子の進化に関する新仮説 |
| 3. 学会等名 日本動物行動学会第41回大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山本悠渡・安井行雄 |
| 2. 発表標題 フタホシコオロギ雌での多雄交尾bet-hedging仮説の再検討 |
| 3. 学会等名 日本動物行動学会第41回大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山本悠渡・安井行雄 |
| 2. 発表標題 フタホシコオロギ雌のbet-hedging polyandry：一雄多回交尾と多雄各一回交尾の卵孵化率への影響 |
| 3. 学会等名 日本応用動物昆虫学会第67回大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山本悠渡・安井行雄 |
| 2. 発表標題 フタホシコオロギ雌における一雄多回交尾と多雄各一回交尾の繁殖失敗確率の比較 |
| 3. 学会等名 日本生態学会第70回大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大西流偉・松村健太郎・安井行雄 |
| 2. 発表標題 コクヌストモドキとオオツノコクヌストモドキの二種間の繁殖における相互作用の検証 |
| 3. 学会等名 日本生態学会第70回大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山本悠渡・安井行雄 |
| 2. 発表標題 フタホシコオロギを用いた多雄交尾 bet-hedging 仮説の検証実験 |
| 3. 学会等名 2021 年度 中国四国地区生物系三学会（日本動物学会・日本植物学会・日本生態学会）合同大会香川大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 松村 健太郎・川端 侑真・安井 行雄 |
| 2. 発表標題 アクティブな雄は雌からモテない？コクヌストモドキを用いた検証 |
| 3. 学会等名 日本動物行動学会第39回大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 松村 健太郎・宮竹 貴久・安井 行雄 |
| 2. 発表標題 雌の多雄交尾に関するbet-hedging仮説の検証 |
| 3. 学会等名 日本生態学会第68回大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山本悠渡・安井 行雄 |
| 2. 発表標題 フタホシコオロギ雌の多雄交尾は交尾失敗・環境変動に対する保険か？ |
| 3. 学会等名 日本動物行動学会第38回大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|---|
| 日本動物行動学会Editor's Choice Award 2022 https://www.ag.kagawa-u.ac.jp/?p=30240 第70回日本生態学会大会ポスター賞優秀賞を受賞 https://www.ag.kagawa-u.ac.jp/?p=30734 2022 Springer-Nature, Research Highlights https://www.ag.kagawa-u.ac.jp/?p=31001 2022 Springer-Nature, Research Highlights https://www.kagawa-u.ac.jp/2022-springer-nature-research-highlights-evolutionary-biology/ 昆虫の世界から生物の進化生態を探る https://www.ag.kagawa-u.ac.jp/?p=27293 |
|---|

| | | |
|---------------------------|-----------------------|----|
| 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 |
|---------|---------|