

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：82104

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05627

研究課題名（和文）群生相化したサバクトビバッタの過酷な砂漠に対する適応戦略の解明

研究課題名（英文）Adaptive strategies of gregarious desert locusts to harsh desert conditions.

研究代表者

前野 浩太郎（Koutaro Ould, Maeno）

国立研究開発法人国際農林水産業研究センター・生産環境・畜産領域・主任研究員

研究者番号：70600112

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）：半乾燥地帯に生息するサバクトビバッタが混み合いに反応し群生相化するのはいかなる適応的意義があるかという生態学的疑問に答えるために研究に取り組んだ。とくに、卵、幼虫、成虫のそれぞれに发育ステージにおける環境ストレス（エサ、水、熱）への適応に着目した。野外調査と室内実験とを組み合わせ、相変異が関与した生理学および行動学的変化は砂漠ならではの環境への適応であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、バッタ類の群生相化の適応的意義を環境ストレス耐性という観点から解き明かすため、長年にわたって謎だった大発生プロセスの一端を説明できることが期待される。また、全ての生物が普遍的に共有する「熱、水、エサ」に関するストレスに対する適応戦略について、基礎的ながらも斬新な知見が得られることが期待され、新たな課題を創出するなど将来の発展性も高く見込まれることから、本研究は、生物の適応能力を開拓するモデル研究として位置づけられる。

研究成果の概要（英文）：The research was undertaken to answer the ecological question of whether there is any adaptive significance for gregarization in the desert locusts. In particular, we focused on adaptation to environmental stresses (food, water, heat) during the developmental stages of eggs, larvae, and adults, respectively. A combination of field studies and laboratory experiments suggested that the physiological and behavioral changes involved in phase polyphenism are adaptations to the unique desert environment.

研究分野：応用昆虫学

キーワード：サハラ砂漠 サバクトビバッタ 群生相化 相変異 適応

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

サバクトビバッタ(以下、バッタ)は西アフリカから南西アジアの半砂漠地帯に広く生息しており、大雨が引き金となって不定期に大発生し、農作物に甚大な被害を及ぼす世界的な越境性害虫である。短期間のうちに広範囲にわたって被害が拡大するのは、本種が優れた移動・発育・繁殖能力を有するためであるとされてきた。しかし、野外生態に不明な点が多く、大発生に至るメカニズムは未だに詳しくわかっていない。とくに、生息地は、気温の日較差が 30 以上、乾燥など地球上で最も過酷な環境の一つである。ほとんどの生物は生存さえ許されない厳しい環境下で、バッタがいかんして生き延び、大発生に至るのか、その適応戦略はほとんどわかっていない。バッタは混み合いに応じて行動、形態、生理的形質を変化させる表現型可塑性の一種、「相変異」を示し、混み合うと孤独相から群生相へと転移する。1921 年に Uvarov が「相説」を提唱して以来、一世紀にわたって相変異に関する研究が行われ、群生相化の特徴は、卵(小型 大型) 幼虫と成虫(単独・定住 集合・移動)の異なる発育ステージで明らかにされてきた。しかし、バッタの群生相化の生態学的意義についてはほとんど研究されておらず、なぜ大発生時にバッタは群生相化する必要があるのかという本質的な問いに答えられていない。

本研究では、こうした群生相化の生態学的意義を明らかにしたいという着想に至った。

2. 研究の目的

本研究は、バッタの群生相化が過酷な砂漠環境への適応であるかどうかを明らかにすることを目的としている。本研究を遂行することにより、基礎生物学的には、不安定で過酷な環境に対する表現型可塑性の機能が明らかとなり、各発育ステージにおける群生相化の生態学的意義を実証できる。群生相化の意義を解明するため、【卵】バッタが群生相化して卵数を減らしてまで卵サイズを大型化するのは、乾燥耐性を高めるためであること、【幼虫】低温時に幼虫が密集するのは体温を高めるためであり、高温時に活動することで被食を避けつつ、集団移動することで局所的な餌不足を回避し、効率良く採餌すると共に砂漠の高温を利用して消化に最適な高い体温を行動的に維持すること、【成虫】雄の高温耐性を雌は交尾相手の質評価として使用し、さらに天敵が活動できない高温時に産卵することで捕食リスクを避けること、の 5 つの仮説を立てる。これらが解明されると、群生相化が生物学の分野においても単なるストレス耐性として機能するだけでなく、極限環境を巧みに利用して増殖しているというこれまでにない独自の知見が得られることが期待される。

3. 研究の方法

モーリタニアでの野外調査と室内実験とを組み合わせる。

(1) 卵の吸水能力(大卵有利仮説)

バッタの雌成虫は群生相化すると卵サイズを大型化させ、大きな卵からふ化した幼虫は飢餓耐性が強まることわかっていいる。しかし、それ以外に考えられる「大きな卵ほど吸水能力が高い」という仮説について検証するために、異なる大きさの卵の吸水能力を調査する。

(2) 幼虫の低温適応(集団日向ぼっこ仮説)

変温動物であるバッタの活動は温度依存的であり、夜間と朝方の低温時には活発に動くことができず、温度が十分に高い日中に活発になる。孤独相の幼虫はお互いを避け、定住的であるが、群生相化すると集団で移動しはじめる。低温時、群生相の幼虫は地面に密集しているのを予備的に見出した。そこで、「群生相特有の集団行動は体温を効率良く高めるウォーミングアップである」という仮説について、サーモグラフィカメラを用いて野外調査を行い検証する。

(3) 幼虫の高温適応(体温調節仮説)

群生相の幼虫は、サハラ砂漠においてほとんどの生物が避ける日中の高温下を群れで歩いて移動するほぼ唯一の節足動物である。予備的に頻りに移動しながら採餌していることを観察しており、「幼虫は、行動的に体温調節し、天敵が不活発な高温下に移動することで被食リスクを下げ、高い体温を維持しながら効率良く採餌・消化し、発育を早めている」という仮説について、野外調査で検証する。移動する個体を解剖し、胃の状態から消化の程度と体温との関係を定量化する他、実験的に異なる温度に曝した個体の消化速度を調査することで仮説を検証する。

(4) 成虫の高温耐性を利用した配偶者選択(配偶者選択仮説)

群生相の雄成虫は日中、高温の地表面に集合し、レック(雌が交尾するために雄の集団を訪れる繁殖様式のこと)を形成している可能性がある。産卵直前の雌成虫がレックに飛来することから、「高い高温耐性を持つ雄が雌に選ばれる」という仮説を検証するために、野外にてレック中の雄個体の体温測定、ビデオ撮影をし、飛来する雌成虫とどの雄が交尾しているかを明らかにする。

(5) 産卵戦略 (日傘仮説)

産卵中の雌成虫は90%以上がペアで日中の高温時に産卵していた。「雌の背中で交尾後ガード中の雄が日傘として機能し、産卵中の雌成虫のオーバーヒートを防ぐ」という仮説を検証する。ペア又はシングルの雌雄を地表面に曝し、体温測定、死亡率、天敵による捕食率を調査する。

4. 研究成果

(1) 卵の吸水能力 (大卵有利仮説)

卵のサイズに関わらず、産卵後4日目から吸水し、ほぼ同じ吸水率を示し、ふ化まで卵重が増加した。この結果は、「大きな卵ほど吸水能力が高い」という仮説を支持しないものであった。しかし、胚が反転する中期までは胚の大きさに大小の卵で有意な違いはみられず、胚の反転後に大卵の胚が小卵よりも有意に大きくなったことから、ふ化時の幼虫の大きさの違いは、卵発育中期以降に生み出されていることがわかった(Maeno et al., 2023a)。

(2) 幼虫の低温適応 (集団日向ぼっこ仮説)

低温時、群生相の幼虫は地面に密集しているが、サーモグラフィカメラを用いて撮影したところ、周りの温度よりも高い体温を維持していることが分かった。この結果は、「群生相特有の集団行動は体温を効率良く高めるウォーミングアップである」という仮説を指示するものであった(Maeno et al., 2021a)。

(3) 幼虫の高温適応 (体温調節仮説)

野外調査より、群生相の幼虫は日中の高温時は日陰に隠れたり、植物に登ったりするなど行動的にクールダウンし、体温を約40℃に保つ傾向があった。実験的に野外で日向にさらした場合や、実験室内で高温に曝した場合、消化を早める傾向が見られ、群生相の幼虫は砂漠の高温を巧みに利用し、エサの消化を促進していることが示唆された(Maeno et al., 2021a)。

調査中、食欲旺盛な個体は移動を続けるが、脱皮直前の個体は移動を止め、植物に留まるため、脱皮時の共食いが回避されている現象を見つけた(Maeno et al., 2023b)。

また、全ての群生相幼虫がシェルターとして機能する夜間の宿り木にたどり着けるわけではなく、早朝の低温時には対捕食者戦略の機能が低下することを明らかにした(Maeno et al., 2024a)。

(4) 成虫の高温耐性を利用した配偶者選択 (配偶者選択仮説)

野外調査の結果、性成熟した群生相成虫は雌雄いずれかに性比が偏った集団を形成していた。雌はレックに飛来し、地表面で待ち構えていた雄がすかさず交尾していた(Maeno et al., 2021b)。

「高い高温耐性を持つ雄が雌に選ばれる」という仮説を検証するまでに至らなかったが、レックを介して交尾をしていることを明らかにした。現時点では、仮説を検証するのに十分なデータが得られていない。しかしながら、レック中のオスの高温耐性について調査し、日中の温度と太陽光に反応し、姿勢を変えてメスを待ち受けていることを明らかにできた。さらに、54.7℃と高い高温耐性を生理的にもつことを明らかにした(Maeno et al., 2023c)。

(5) 産卵戦略 (日傘仮説)

サーモグラフィで日中の高温時に産卵中のペアの体温を測定したところ、地表温度よりも低い温度が保たれていることが分かった。実験的にペア又はシングルの雌雄を地表面に固定して体温を測定したところ、ペアのメスのほうがシングルのメスよりも有意に低い体温を保持していることがわかった。これらの結果は、「雌の背中で交尾後ガード中の雄が日傘として機能し、産卵中の雌成虫のオーバーヒートを防ぐ」という仮説を支持するものだと考えられる(Maeno et al., 2024b)。

また、群生相がいかにして大型卵を生産しているかを生理学的に調査したところ、卵吸収する卵巣小管数を増やし、卵をつくる期間が延びることで、産卵数を減らして卵サイズを大きくしていることが明らかになった(Maeno et al., 2022)。

<引用文献>

① Maeno, K.O., Piou, C., Leménager, N. (2023a) Egg size-dependent embryonic development in the desert locust, *Schistocerca gregaria*. *Journal of Insect Physiology*, 145, 104467. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2022.104467>

Maeno, K.O., Piou, C., Kearney, M.R., Ould Ely, S., Ould Mohamed. S., Jaavar, M.E.H. & Ould Babah Ebbe, M.A. (2021a) A general model of the thermal constraints on the world's most destructive locust, *Schistocerca gregaria*. *Ecological Applications*, 31, e02310. <https://doi.org/10.1002/eap.2310>

Maeno, K.O., Benahi, A.S., & Jaavar, M.E.H. (2024a) Risk of migration: not all gregarious locust nymphs reach appropriate refuges. *The Science of Nature*. 111, 28. <https://doi.org/10.1007/s00114-024-01914-8>

Maeno, K.O., Piou, C., Whitman, D.W., Ould Ely, S., Ould Mohamed. S., Jaavar, M.E.H., & Ould Babah Ebbe, M.A. (2023b) How locusts avoid cannibalism. *Behavioral Ecology*, 34, 571-880. <https://doi.org/10.1093/beheco/arad025>

Maeno, K.O., Ould Ely, S., Ould Mohamed. S., Jaavar, M.E.H. & Ould Babah Ebbe, M.A. (2023c) Thermoregulatory behavior of lekking male desert locusts, *Schistocerca gregaria*, in the Sahara Desert. *Journal of Thermal Biology*, 112, 103466. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2023.103466>

Maeno, K.O., Piou, C., Ould Ely, S., Ould Mohamed. S., Jaavar, M.E.H., Ghaout, S. & Ould Babah Ebbe, M.A. (2021b) Density-dependent mating behaviors reduce male mating harassment in locusts. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118, e2104673118. doi: 10.1073/pnas.2104673118

Maeno, K.O., Ould Ely, S., Ould Mohamed. S., Jaavar, M.E.H., Benahi, A.S. & Ould Babah Ebbe, M.A. (2024b) Mate-guarding male desert locusts act as parasol for ovipositing females in extremely hot desert environment. *Ecology*. (in press)

Maeno, K.O., Piou, C., Ghaout, S. (2022) Allocation of more reproductive resource to egg size rather than clutch size of gregarious desert locust (*Schistocerca gregaria*) through increasing oogenesis period and oosorption rate. *Journal of Insect Physiology*, 136, 104331. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2021.104331>

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 8件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Maeno, K.O., Piou, C., Lemenager, N.	4. 巻 145
2. 論文標題 Egg size-dependent embryonic development in the desert locust, <i>Schistocerca gregaria</i>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Insect Physiology,	6. 最初と最後の頁 104467
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jinsphys.2022.104467	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 該当する
1. 著者名 Maeno, K.O., Ould Ely, S., Ould Mohamed. S., Jaavar, M.E.H., Ghaout, S. & Ould Babah Ebbe, M.A.	4. 巻 112
2. 論文標題 Thermoregulatory behavior of lekking male desert locusts, <i>Schistocerca gregaria</i> , in the Sahara Desert.	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Thermal Biology.	6. 最初と最後の頁 103466
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jtherbio.2023.103466	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 該当する
1. 著者名 Maeno, K.O., Piou, C., Kearney, M.R, Ely, S.O., Mohamed, S.O., Jaavar, M.E.H., and Ould Babah Ebbe, M.A.	4. 巻 31
2. 論文標題 A general model of the thermal constraints on the world's most destructive locust, <i>Schistocerca gregaria</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ecological Applications	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/eap.2310	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 該当する
1. 著者名 Maeno, K.O., Piou, C., Ely, S.O., Mohamed, S.O., Jaavar, M.E.H., Ghaout, S. and Ould Babah Ebbe, M.A.,	4. 巻 118
2. 論文標題 Density-dependent mating behaviours reduce male mating harassment in locusts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America	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） 10.1073/pnas.2104673118	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 該当する

1. 著者名 Maeno, K.O., Piou, C. and Ghaout, S.	4. 巻 132
2. 論文標題 Allocation of more reproductive resource to egg size rather than clutch size of gregarious desert locust (Schistocerca gregaria) through increasing oogenesis period and oosorption rate	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Insect Physiology	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jinsphys.2021.104331	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 該当する

1. 著者名 Maeno Koutaro Ould, Piou Cyril, Whitman Douglas W, Ould Ely Sidi, Ould Mohamed Sid ' Ahmed, Jaavar Mohamed El Hacem, Ould Babah Ebbe Mohamed Abdallahi	4. 巻 34
2. 論文標題 How molting locusts avoid cannibalism	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Behavioral Ecology	6. 最初と最後の頁 571 ~ 580
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/beheco/arad025	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 該当する

1. 著者名 Maeno Koutaro Ould, Benahi Ahmed Salem, Jaavar Mohamed El Hacem	4. 巻 111
2. 論文標題 Risk of migration: not all gregarious locust nymphs reach appropriate refuges	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Science of Nature	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00114-024-01914-8	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 該当する

1. 著者名 Maeno, K.O., Ould Ely, S., Ould Mohamed. S., Jaavar, M.E.H., Benahi, A.S. & Ould Babah Ebbe, M.A.	4. 巻 -
2. 論文標題 Mate-guarding male desert locusts act as parasol for ovipositing females in extremely hot desert environment	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Ecology	6. 最初と最後の頁 -
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 前野浩太郎
2. 発表標題 猛暑の砂漠で産卵するサバクトビバッタのメスは、交尾中のオスを日傘に使う
3. 学会等名 第70回日本生態学会講演要旨集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 前野浩太郎
2. 発表標題 サバクトビバッタに関する問題とその対策
3. 学会等名 第66回日本応用動物昆虫学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Maeno, K.O., Jaavar, M.E.H., and Ould Babah Ebbe, M.A.
2. 発表標題 Field research for understanding behavioral patterns of the desert locusts in Mauritania
3. 学会等名 24TH MEETING AND SCIENTIFIC CONFERENCE OF THE AFRICAN ASSOCIATION OF INSECT SCIENTISTS (AAIS) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前野ウルド浩太郎
2. 発表標題 アフリカでバッタと闘う
3. 学会等名 第153回東北連合産科婦人科学会総会・学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ould Babah Ebbe, M.A., Jaavar, M-E-H., Courel, M.F., Querci, F. & Maeno, K.O.
2. 発表標題 The use of Locust and Grasshopper for food and fodder as an option of locust management control strategy.
3. 学会等名 4th International congress of orthopterists. Merida, Yucatan, Mexico. (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 前野浩太郎
2. 発表標題 サバクトビバッタにおける密度依存的な繁殖システム
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

1. 発表者名 前野浩太郎
2. 発表標題 サバクトビバッタはどうやって互いの卵を傷つけずに集団産卵するのか？
3. 学会等名 日本生態学会71回大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 前野ウルド浩太郎	4. 発行年 2022年
2. 出版社 光文社新書	5. 総ページ数 406
3. 書名 孤独なバッタが群れるとき 『バッタを倒しにアフリカへ』エピソード1	

1. 著者名 前野ウルド浩太郎	4. 発行年 2024年
2. 出版社 光文社新書	5. 総ページ数 608
3. 書名 バッタを倒すぜ アフリカで	

1. 著者名 前野ウルド浩太郎	4. 発行年 2023年
2. 出版社 北陸館	5. 総ページ数 -
3. 書名 昆虫と自然 サバクトビバッタの繁殖行動	

〔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		
米国	イリノイ州立大学		